

MÁSTER EN TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO Y LA COOPERACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Estudio de la calidad del agua en cisternas de captación de agua de lluvia

EN ESCUELAS RURALES DE ALAGOAS, BRASIL

Alumna: Mafalda González Abelleira
Tutor: José Antonio Mancebo Piqueras
Co-tutora: María Teresa Hernández Antolín
Junio 2014

TRABAJO FIN DE MÁSTER



"Deve-se escrever da mesma maneira como as lavadeiras lá de Alagoas fazem seu ofício. Elas começam com uma primeira lavada, molham a roupa suja na beira da lagoa ou do riacho, torcem o pano, molham-no novamente, voltam a torcer. Colocam o anil, ensaboam e torcem uma, duas vezes. Depois enxáguam, dão mais uma molhada, agora jogando a água com a mão. Batem o pano na laje ou na pedra limpa, e dão mais uma torcida e mais outra, torcem até não pingar do pano uma só gota. Somente depois de feito tudo isso é que elas dependuram a roupa lavada na corda ou no varal, para secar. Pois quem se mete a escrever devia fazer a mesma coisa. A palavra não foi feita para enfeitar, brilhar como ouro falso; a palavra foi feita para dizer."

O alagoano Graciliano Ramos, 1892-1953

ÍNDICE

ÍNDICE	3
ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICAS Y FIGURAS	6
Tablas	6
Gráficos.....	6
Figuras	7
LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	9
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.2. ALCANCE DEL ESTUDIO.	4
2. PROYECTO CISTERNAS Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL SEMIÁRIDO ALAGOANO	5
2.1. PROYECTO “ÁGUA PARA EDUCAR” EN COMUNIDADES ESCOLARES DE LA REGIÓN DE IPANEMA EN ALAGOAS, BRASIL.....	5
BOMBA CARCARÁ II.....	7
2.2. GRADO DE AVANCE DEL PROYECTO “ÁGUA PARA EDUCAR”	7
3. ESTADO DEL ARTE	9
3. 1. AGUA Y DESARROLLO	9
ACCESO A AGUA POTABLE: INDICADORES	10
CAMBIO CLIMÁTICO Y AGUA	12
3.2. CISTERNAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO	13
EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO	13
PROGRAMA “UM MILHÃO DE CISTERNAS RURAIS (P1MC)”	17
3.2. LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS CISTERNAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO.....	18
EL CAMINO DEL AGUA.....	19
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS CISTERNAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.	21

LEGISLACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CISTERNAS EN BRASIL	26
3.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN DESARROLLO O AYUDA HUMANITARIA.....	27
INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL.....	27
TÉCNICA DE FILTRACIÓN DE MEMBRANA: KITS PORTÁTILES	28
OTRAS TÉCNICAS Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	29
4. FASES Y MÉTODO	31
SELECCIÓN DE MUESTRA.....	32
4.1. METODOLOGÍA PARTE CONSTRUCTIVA.....	33
4.2. METODOLOGÍA CALIDAD DEL AGUA	34
RECOGIDA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS	35
VARIABLES DEL ESTUDIO	35
MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA	36
4.3. TRATAMIENTO DE DATOS	44
5. RESULTADOS	46
5.1. RESULTADOS PARTE CONSTRUCTIVA.	46
CISTERNA	51
BOMBA CARCARÁ II.....	53
SOPORTADO DE LAS CANALIZACIONES	55
OTROS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RECOGIDA: RECOGIDA DEL AGUA, ÁREA DE CAPTACIÓN, REBOSADERO, TRAMPILLA Y PLACA IDENTIFICADORA.....	58
5.2. RESULTADOS CALIDAD DEL AGUA.....	58
ESTUDIO DE LA PROCEDENCIA DEL AGUA DE LAS CISTERNAS	59
DIAGNÓSTICO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	60
ESTUDIO DE FACTORES INFLUYEN	65
OTROS ASPECTOS	76
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO “ÁGUA PARA EDUCAR”.	79
6.1. CONCLUSIONES TÉCNICAS SOBRE LOS SISTEMAS DE RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA EN LAS ESCUELAS.....	79
6.2. CONCLUSIONES DE LA CALIDAD DEL AGUA	80
7. CONCLUSIÓN FINAL.....	82
REFERENCIAS	83
ANEXO I: LISTADO DE VISITAS REALIZAS Y REGISTRO DE MUESTREO	87

ANEXO II: MATERIALES GRUPOS FOCALES	92
ANEXO III. IDENTIFICACIÓN VISUAL DE LAS CISTERNAS.....	94
ANEXO IV: FORMULARIOS DE CAMPO	96
ANEXO V: JORNADAS INTERNACIONALES DE BOMBAS MANUALES Y DE ARIETE.	101

ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICAS Y FIGURAS

Tablas

TABLA 1. GRADO DE AVANCE DEL PROYECTO CISTERNAS 3ª AGUA A 14 DE MARZO DEL 2014.	8
TABLA 2. INDICADORES DE FUENTES MEJORADAS Y NO MEJORADAS DE AGUA (WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNICEF, 2005)* EL AGUA EMBOTELLADA NO SE CONSIDERA UNA FUENTE MEJORADA DE AGUA DEBIDO A SUS LIMITACIONES EN EL SUMINISTRO, NO EN SU CALIDAD.	11
TABLA 3. FORMA DE ABASTECIMIENTO EN AGUA DE ALAGOAS: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFÍA E ESTATÍSTICA, 2010)	16
TABLA 4. PATRONES MICROBIOLÓGICOS DE POTABILIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO. (MINISTÉRIO DE SAÚDE DE BRAZIL, 2004)	26
TABLA 5. PARÁMETROS BÁSICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE BRASIL Y DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. ELABORACIÓN PROPIA.	27
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LAS 2 TÉCNICAS MÁS USADAS EN EL ANÁLISIS DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES O TOTALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1996).	28
TABLA 7. CRONOGRAMA DE LAS FASES DE LAS PRÁCTICAS PROFESIONALES Y LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.	32
TABLA 8. RESUMEN DEL NÚMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS EN MINI LABORATORIO Y DE VISITAS TÉCNICAS.	32
TABLA 9. LISTA DE PROBLEMAS O INCIDENCIAS OBSERVADAS EN LOS SISTEMAS DE RECOGIDA DE AGUA POR ESCUELA, CON ALGUNAS FOTOS ILUSTRATIVAS.	46
TABLA 10. DATOS SOBRE EL: (A) FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS INSTALADAS Y (B)- EL USO DE LAS BOMBAS EN FUNCIONAMIENTO	54
TABLA 11. DATOS SOBRE LA TIPOLOGÍA DEL SOPORTADO DE LA TUBERÍA A CISTERNA.	55
TABLA 12. LISTADO DE LAS VISITAS DE TOMA DE CONTACTO (ENTRADA POR FECHA).	87
TABLA 13. REGISTRO DE VISITAS DE TOMA DE MUESTRAS Y TÉCNICAS	90
TABLA 14. NÚMERO DE ANÁLISIS POR ESCUELA Y LUGAR DE TOMA DE MUESTRA Y VISITAS TÉCNICAS	91

Gráficos

GRÁFICO 1. PROPORCIÓN DE LA POBLACIÓN QUE USA UNA FUENTE MEJORA DE AGUA EN 1990 Y EN 2011. FUENTE: INFORME 2012 DE NACIONES UNIDAS OBJETIVOS DEL MILENIO (NACIONES UNIDAS, 2013).	10
GRÁFICO 2. OCURRENCIA DE BACTERIAS DESPUÉS DE LAS LLUVIAS EN CISTERNAS DE ETIOPÍA (MARTINSON & THOMAS, 2003)... ..	22
GRÁFICO 3. COMPARATIVA DE COLIFORMES TOTALES ANTES Y DESPUÉS DEL DISPOSITIVO DE PRIMERAS AGUAS EN MUNICIPIOS DEL SAB DE PERNAMBUCO. (NÓBREGA, 2011)	24
GRÁFICO 4. COMPARACIÓN DE E-COLI EN CISTERNAS NUEVAS Y ANTIGUAS (2-3 AÑOS) EN EL SAB DE MINAS GERAIS: FUENTE: (VENTURA DA SILVA, 2006).	25
GRÁFICO 5. FUNCIONAMIENTO Y USO DE LA BOMBA CARCARÁ II EN LAS 19 CISTERNAS ESCOLARES QUE FUE INSTALADA.	54
GRÁFICO 6. TIPOLOGÍA DEL SOPORTADO DE LA TUBERÍA HORIZONTAL.	55
GRÁFICO 7. PORCENTAJE DE LAS ESCUELAS EN FUNCIÓN DE LA PROCEDENCIA DEL AGUA (SOBRE EL TOTAL DE LAS 57 ESCUELAS DE LA TOMA DE CONTACTO).	59

GRÁFICO 8. FRECUENCIAS DE COLIFORMES FECALES EN LAS CISTERNAS CONDRI: (A)-FRECUENCIA ABSOLUTA Y (B)-FRECUENCIA RELATIVA.	61
GRÁFICO 9. FRECUENCIAS DE LOS VALORES DE PH EN LAS CISTERNAS CONDRI: (A)-FRECUENCIAS ABSOLUTAS Y (B)-FRECUENCIAS RELATIVAS.	62
GRÁFICO 10. FRECUENCIAS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS CISTERNAS CONDRI: (A)-FRECUENCIAS ABSOLUTAS Y (B)-FRECUENCIAS RELATIVAS.	63
GRÁFICO 11. FRECUENCIAS DE LOS VALORES DE TEMPERATURA DE LAS CISTERNAS CONDRI: (A) –FRECUENCIAS ABSOLUTAS Y (B)-FRECUENCIAS RELATIVAS.	64
GRÁFICO 12. FRECUENCIAS DE VALORES DE CLORO RESIDUAL EN LAS CISTERNAS CONDRI.	65
GRÁFICO 13. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LA PROCEDENCIA DEL AGUA.	66
GRÁFICO 14. PORCENTAJE DE MUESTRAS CON COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DE LA PROCEDENCIA DEL AGUA.	66
GRÁFICO 15. NÚMERO DE MUESTRAS CON BACTERIAS DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO (5 NOVIEMBRE A 13 MARZO).	67
GRÁFICO 16. PORCENTAJE DEL NÚMERO DE MUESTRAS CON COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO TRASNCURRIDO DESDE EL EPISODIO DE LLUVIA HASTA EL MOMENTO DE MEDICIÓN.	68
GRÁFICO 17. PORCENTAJE DEL NÚMERO DE MUESTRAS CON COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DE LA RETIRADA DE LAS PRIMERAS LLUVIAS.	69
GRÁFICO 18. PORCENTAJE DE COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DE LA SITUACIÓN DE LA ESCUELA.	70
GRÁFICO 19. VALORES DE PH SEGÚN EL MODO DE ALMACENAR EL AGUA.	71
GRÁFICO 20. VALORES DE TEMPERATURA SEGÚN SEGÚN EL MODO DE ALMACENAR EL AGUA.	71
GRÁFICO 21. PORCENTAJE DE COLIFORMES FECALES SEGÚN SEGÚN EL MODO DE ALMACENAR EL AGUA.	72
GRÁFICO 22. PORCENTAJE DE MUESTRAS CON COLIFORMES FECALES SEGÚN EL MODO DE ALMACENAR EL AGUA.	73
GRÁFICO 23. VALORES DE PH EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN.	75
GRÁFICO 24. PORCENTAJE DE MUESTRAS CON COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DEL MODO DE EXTRACCIÓN DEL AGUA DE LA CISTERNA.	76
GRÁFICO 25. ESTIMACIONES DEL BALANCE MENSUAL HÍDRICO EN EL CASO DE UNA ESCUELA CON 28 ALUMNO: (A) .UN AÑO DE PRECIPITACIONES MEDIAS Y (B)- UN AÑO SECO.	78

Figuras

FIGURA 1. FOTOS DE LOS PEDREIROS CONSTRUYENDO LAS CISTERNAS: (A)- HACIENDO MOLDES DE LAS VIGUETAS; (B) – SECANDO PLACAS DE LA CUBIERTA; (C)-HACIENDO PRETENSANDO Y – (D)- CUBRIENDO CISTERNA.	6
FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE LA COBERTURA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y EL ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO POR PAÍSES (COLORES) EN EL AÑO 2010. DIÁMETRO PROPORCIONAL AL NÚMERO DE HABITANTES DE CADA PAÍS. FUENTE: WWW.GAPMINDER.ORG, CONSULTA 2014. DATOS DE NACIONES UNIDAS PARA EL ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO (INFORME DE DESARROLLO HUMANO) Y FUENTES MEJORADAS DE AGUA POTABLE (INDICADORES DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO).	9
FIGURA 3. EJEMPLOS DE VULNERABILIDAD ACTUAL DE RECURSOS DE AGUA DULCE Y DE SU GESTIÓN, BASADO EN EL MODELO DE WATER WAP (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2008).....	12
FIGURA 4. MAPAS: (A) –MAPA DEL ESTADO DE ALAGOAS (AL) Y (B) – MAPA DEL SEMIÁRIDO BRASILEÑO. DATOS DEL IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007)	15
FIGURA 5. PRINCIPALES ADUCTORAS DE LA CASAL EN ALAGOAS.	17
FIGURA 6. SECUENCIA DE POSIBLE CONTAMINACIÓN Y TRATAMIENTO EN UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA CON CISTERNA: FUENTE: (GNADLINGER, 2007) A PARTIR DE (SPINKS, COOMBES, DUNSTAN, & KUCZERA, 2003).....	20

FIGURA 7. DISPOSITIVOS PARA LA RETIRADA DE LA PRIMERA AGUA PROPUESTO POR VARIOS AUTORES: (A)- (NETO, O DESCARTE DAS PRIMEIRAS ÁGUAS E A QUALIDADE DA ÁGUA, 2012); (B)- (NÓBREGA, 2011); (C)- (THOMAS, 2003); Y (D)- (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005).....	23
FIGURA 8. KIT PORTÁTIL PARA ANÁLISIS DE AGUA (MARCA WAGTECH).....	29
FIGURA 9. ESQUEMA SECUENCIAL DE LA METODOLOGÍA DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA CONSECUCCIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	34
FIGURA 10. MEDICIÓN DE: (A) —PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS <i>IN-SITU</i> Y (B)- COLIFORMES FECALIS EN MINI LABORATORIO.	37
FIGURA 11. EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS: (A)- MEDIDOR DE PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y TEMPERATURA (HANNA INSTRUMENTS HI 98129) Y (B)- COMPARADOR VISUAL PARA MEDIR EL CLORO RESIDUAL (WAGHTECH WAG-WE10195).....	38
FIGURA 12. CLASIFICACIÓN DEL AGUA ACORDE CON SU CONDUCTIVIDAD. FUENTE: (ACCIÓN CONTRA EL HAMBRE, 2005).	39
FIGURA 13. EVOLUCIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN EL AGUA SEGÚN LA ADICIÓN DEL CLORO. FUENTE: (INSTITUTO DE SANIDAD PÚBLICA. CONSEJERÍA DE SANIDAD Y CONSUMO. COMUNIDAD DE MADRID, 2004)	40
FIGURA 14. TURBIDÍMETROS DEL LABORATORIO DE HIDÁULICA APLICADA AL DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.	41
FIGURA 15. FERMENTACIÓN BACTERIANA DE LA LACTOSA: LA LACTOSA, DISACÁRIDO COMPUESTO POR MOLÉCULAS DE GLUCOSA Y GALACTOSA UNIDAS POR UN ENLACE B-GALACTÓSIDO SE DIFUNDE A TRAVÉS DE LA PARED DE LA CÉLULA BACTERIANA BAJO LA ACCIÓN DE LA B-GALACTOSIDASA PERMEASA. SI LA BACTERIA PRODUCE B-GALACTOSIDASA, LA LACTOSA ES HIDROLIZADA PARA PRODUCIR GLUCOSA Y GALACTOSA. LA GLUCOSA ES LUEGO METABOLIZADA VÍA EMBDEN-MEYERHOF. FUENTE: DIAGNÓSTICO MICROBIOLÓGICO (KONEMAN, 2009).....	43
FIGURA 16. FOTO DE COLONIAS DE COLIFORMES FECALIS EN PLACA POR LA TÉCNICA DE FILTRACIÓN DE MEMBRANA DE AGUAS DE LA CISTERNA DE RIACHÃO DOS ALEXANDRES. NÚMERO DE COLONIAS APROXIMADAMENTE 50.....	43
FIGURA 17. FOTOS DE CISTERNAS ACABADAS: (A)-FORMACIÓN DE UN SURCO DE AGUA POR NO RECOLOCAR LA TIERRA Y (B)-SE OBSERVA UN ACABADO DIFERENTE AL RESTO DE LAS CISTERNAS.	52
FIGURA 18. FOTOS: (A)- BOMBA CARCARÁ II CON TUBO DE PVC AÑADIDO Y (B)- BOMBA ELÉCTRICA INSTALADA EN EL INTERIOR DE LA CISTERNA.	55
FIGURA 19. FOTOS TIPOLOGÍA DE LOS SOPORTES DE LAS CANALIZACIONES A CISTERNA; (A)-SIN SOPORTE, (B)-CON TUBERÍA PVC, (C)-APOYADO EN TEJADO, (D)-APOYADO EN VALLA DEL COLEGIO, (E) CON PALO DE MADERA Y (F)-CON VIGUETAS DE HORMIGÓN ARMADO (MISMO MOLDE QUE LA CISTERNA).	56
FIGURA 20. SECUENCIA DE FOTOS DE UN SOPORTE DE MADERA EN POVOADO PEDRÃO (OLHO DE AGUA DAS FLORES): (A)-EL SOPORTE DEJA DE APOYAR DEBIDO AL ASENTAMIENTO DE LA TIERRA Y (B)- EL SOPORTE CAE Y CON ÉL LA TUBERÍA.....	57
FIGURA 21. FOTOS DE LA SUJECIÓN DE LOS CANALONES: (A)-USANDO PALOS DE MADERA Y ALAMBRES Y (B)- CON SOPORTES DE ACERO.....	57
FIGURA 22. FOTOS DE ESCUELAS DONDE SE RETIRARON LAS PRIMERAS AGUAS DE LLUVIA MANUALMENTE: (A)- LAGOA DOS CÁGADOS (MAJOR ISIDORO) Y (B)- COVA DO CASADO (CANAPI).	69
FIGURA 23. FOTOS DE LAS ESCUELAS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA Y LOS CUIDADO HIGIÉNICOS.	73
FIGURA 24. PORCENTAJE DE MUESTRAS CON EL TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN Y EL LAVADO DE LA CISTERNA.....	74
FIGURA 25. FOTOS DE LAS CISTERNAS CONDRI: (A). AGUA CON CEMENTO Y (B)- VACIADO DEL AGUA DE LA CISTERNA.	75
FIGURA 26. FOTOS DE LAS DOS REDES O MAYAS DE LAS CISTERNAS CONDRI DESPUÉS DE LAS LLUVIAS.	77
FIGURA 27. FOTOS DE LA MAQUETA <i>SISTEMAS DE RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA</i> REALIZADO EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA AL DESARROLLO (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID): (A)- MAQUETA DEL SISTEMA Y (B)- FOTO DEL DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE RETIRADA DE PRIMERAS AGUAS.	81

LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AECID- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

ASA – Ariticulação do Semiárido Brasileiro

CASAL- Companhia de Saneamiento de Alagoas

CONDRI- Consórcio para o Desenvolvimento da Região do Ipanema

CE- Conductividad Eléctrica

CR- Cloro residual

CRL- Cloro residual libre

GTI - Grupo de Trabajo Interministeria

GCSASD- Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo

IABS- Instituto Ambiental Brazil Sustentavel

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística

IDH- Índice de Desarrollo

IPPC- Intergovernmental Panel on Climate Change

Itidupm- Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano

MDS- Ministério de Desenvolvimento Social

ODM- Objetivo de Desarrollo del Milenio

OMS- Organización Mundial de la Salud.

RTS- Rede de Tecnologías Sociais

SAB- Semiárido Brasil

TS- Tecnologías sociales

UPM- Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se centra en el estudio de la calidad del agua de Sistemas de Recogida de agua de lluvia en escuelas del Semiárido Alagoano de Brasil. Aspectos de la obra civil también son incluidos. Los Sistemas principalmente están formados por un área de captación de agua de lluvia, cisternas de placas de cemento, canalizaciones que las unen y una bomba manual para la retirada del agua de la cisterna.

Se analizaron 206 muestras de parámetros básicos de la calidad del agua – *conductividad eléctrica, turbidez, pH, cloro residual y coliformes fecales*- en 15 cisternas escolares, 3 comunitarias y 2 domiciliarias durante 5 meses. Las propiedades físico-químicas mostraron casi siempre valores acordes con la legislación brasileña (PORTARIA Nº 518/2004), aunque en algunos casos se encontraron pH alcalinos causados por el cemento de la cisterna que disminuyen la eficacia de la cloración, único tratamiento empleado en la zona.

Por otra parte, los análisis en mini laboratorio de coliformes fecales resultaron positivos en un 27% de las veces, siendo inadecuado para el consumo humano según la normativa del país. Sin embargo, cuando se desviaban las primeras lluvias contenientes de contaminantes del tejado, las bacterias disminuían casi por completo. Se ha recomendado por lo tanto, además de otros aspectos, la utilización de dispositivos automáticos y de bajo coste para la retirada de las primeras aguas. Otras influencias en la calidad del agua también fueron halladas.

Palabras clave: *calidad del agua, agua de lluvia, cisternas, Semiárido*

ABSTRACT

This paper focuses on the study of water quality in rainwater Collection Systems in schools in the semi-arid region of Alagoas, Brazil. It includes aspects of civil engineering. The Systems consist primarily of a catchment area of rainwater, concrete cisterns, pipes that join them, and a hand pump for withdrawing water from the cistern.

206 samples were analyzed for basic parameters of water quality – *electrical conductivity, turbidity, pH, residual chlorine and faecal coliforms* – in fifteen cisterns in schools, three communal cisterns and two cisterns in homes, over a period of five months. The physical-chemical properties almost always showed values in accordance with Brazilian legislation (PORTARIA Nº 518/2004), although in some cases an alkaline pH was found, caused by the cement of the cistern, which decreases the efficacy of chlorination - the only treatment used in the area.

In the other hand, the analysis of faecal coliforms in the mini laboratory was positive in 27% of cases, being unfit for human consumption according to national regulations. However, when the first contaminated waters were diverted, the bacteria almost completely disappeared. It is therefore recommended, among other aspects, the use of low-cost automatic mechanisms for the deviation of the first water. Other influences on water quality were also found.

Keywords: water quality, rainwater, cisterns, semi-arid

1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Captación de agua de lluvia constituyen una de las llamadas *Tecnologías Sociales* del Semiárido Brasileño, impulsadas por los propios interesados y creadas para enfrentar la escasez hídrica de la zona. En esta región ocurren sequías cíclicas desde tiempos remotos, ahora como consecuencia del cambio climático se están intensificando.

Bajo este escenario, nació el programa P1MC del Gobierno Brasileño en el cual se pretende construir 1 millón de cisternas de placas. En el contexto de adopción de Tecnologías Sociales, representa invertir en alternativas, comprobadamente eficaces y de bajo coste, para la universalización del atendimento de la carencia del agua. De este modo, se están construyendo cisternas de primera agua –uso domiciliar-, de segunda agua – para uso agropecuario- y de tercera agua –en escuelas- por todo el Semiárido brasileño. En el Semiárido de Alagoas, también llamado *Sertão Alagoano* se creó, además de otros proyectos de primera y segunda agua, el llamado proyecto “Agua para Educar”. Financiado por IABS, con fondos de la Agencia Española de Cooperación y ejecutado por CONDRI, se pretende construir 108 Sistemas de captación de agua de lluvia en 13 municipios del *Sertão* de Alagoas.

La Universidad Politécnica de Madrid, a través del *itdUPM* y varios de sus grupos asociados, realizan una Evaluación del citado Proyecto, formada por: una evaluación técnica de la parte constructiva de las cisternas; una evaluación del modelo de gestión utilizado; un análisis de la calidad del agua suministrada y una evaluación de impacto sobre las mejoras en las condiciones de vida de la comunidad escolar debidas a la implementación de las cisternas escolares.

Este trabajo es el resultado del desarrollo del Análisis de la calidad del agua, además de algunos aspectos referidos a la parte más técnica de las cisternas. Aunque en zonas secas aumentar la cantidad de agua es el principal desafío, es fundamental que el agua sea de calidad para reducir enfermedades.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar la calidad del agua de las cisternas de captación de agua de lluvia en escuelas rurales de Alagoas, averiguando las debilidades y proponiendo mejoras.

Objetivos específicos:

- Estudio de las posibles fuentes de contaminación del agua de las cisternas.
- Un diagnóstico de la calidad del agua de las cisternas escuelas global y estudio comparativo de variables que influyen en ella.

- Recomendaciones o propuesta para el control de la calidad del agua en las cisternas escolares.

1.2. ALCANCE DEL ESTUDIO.

Los resultados del estudio de la calidad del agua están ligados los fenómenos climatológicos, variables externas difícilmente controlables. En este caso, el estudio fue realizado bajo el monitoreo continuo de un período de 6 meses (5 de ellos de recogida de datos), tiempo considerablemente alto para ser representativo en un estudio de calidad del agua. No obstante, debemos tener en cuenta, como se reporta más adelante, que en el Semiárido Alagoano existen períodos de sequía graves, donde la población recurre a fuentes tradicionales y no seguras de agua (presas u otro tipo de aguas superficiales), y en consecuencia la calidad del agua disminuye. El estudio que se presenta a continuación, si bien estuvo bajo alguna situación puntual de déficit de agua -por rotura de una bomba de la CASAL u otros problemas-, no estuvo inmersa en la circunstancia alarmante de sequía, y por tanto, no puede reflejar la calidad del agua en dicho supuesto. Por otra parte, se presenciaron lluvias, permitiendo poder estudiar la influencia de esta variable con la calidad del agua de las cisternas, que es en esencia, la característica más relevante y pertinente de estudio por tratarse de cisternas de captación de agua de lluvia.

Los indicadores de calidad del agua que aquí se utilizan para su medición, corresponde con los parámetros básicos de la calidad del agua reconocidos por la Organización Mundial de la Salud, pero no dan información específica por ejemplo de metales u otros tóxicos. Por tanto, en el caso de que existiese algún metal en concentración altamente preocupante, podrían no ser detectados con este tipo de control de la calidad del agua. Sin embargo, es muy poco probable que ello ocurra y el parámetro realmente importante en el análisis de cisternas de captación de agua de lluvia es el microbiológico, como nos dice la literatura.

Se debe advertir también de la heterogeneidad en el número de mediciones, difiriendo entre escuelas y entre variables. El valor medio de una magnitud se aproxima tanto más al valor verdadero cuanto mayor sea el número de medidas, ya que los errores aleatorios de cada medida se va compensando unos con otros (Centro Español de Metrología, 2008). Al ser diferentes el número de mediciones entre las escuelas, el estudio comparativo de variables se ha efectuado con mediciones de diferentes incertidumbres. Esta variabilidad fue causada principalmente por los retrasos en el cronograma del Proyecto Cisternas 3ª Agua, impidiendo en muchas visitas la recogida de muestras de agua porque las cisternas no estaban acabadas o no habían sido lavadas. No obstante, todo ello no ha impedido percibir claras relaciones entre algunos factores y la calidad del agua, así como establecer conclusiones, que esperan poder ser útiles al proyecto en sí, pero también en análogos.

2. PROYECTO CISTERNAS Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL SEMIÁRIDO ALAGOANO

La iniciativa “Agua en las escuelas”, también llamada Programa de Cisternas de Tercera agua, se engloba dentro del Programa Cisternas BRA-007-B firmado en 2009 entre la AECID, IABS y el MDS. El principal objetivo es contribuir para la transformación social, promoviendo la preservación, el acceso, la gestión y la valorización del agua como un derecho esencial a la vida y a la ciudadanía, ampliando la comprensión y la práctica de la convivencia sostenible y solidaria con el Semiárido brasileiro. En él, además de las cisternas de Tercera agua, se incluyen otras líneas de actuación, como son la construcción de cisternas domiciliarias (Primera agua) o cisternas para las actividades de pequeña producción en familias (Segunda agua).

La construcción de cisternas en el semiárido brasileiro forma parte de la política nacional del Gobierno Brasileiro, bajo el programa “*Um milhão de Cisternas Rurais (PIMC)*”, al cual haremos referencia en el Capítulo 3.

En la Región de Sertão alagoano, es CONDRI, entidad de derecho pública y sin fines lucrativos, el responsable de la ejecución del Proyecto “Agua para educar”, además de los Programas de primera y segunda agua de la región.

2.1. PROYECTO “ÁGUA PARA EDUCAR” EN COMUNIDADES ESCOLARES DE LA REGIÓN DE IPANEMA EN ALAGOAS, BRASIL

Para alcanzar el objetivo del Proyecto -garantizar el acceso al agua para el consumo humano en comunidades escolares de la Región de Ipanema en Alagoas con la construcción de 108 cisternas de placa con capacidad para almacenar 52 mil litros de agua y una pequeña reforma en los tejados de las escuelas rurales-, CONDRI acordó alcanzar una serie de metas relacionadas en el documento “*Projeto básico água para educar em comunidades escolares da Região do Ipanema, Alagoas, Brasil*” (Consorcio para o Desenvolvimento da Região do Ipanema, 2013). De este modo, además de la propia construcción, según el citado documento, se pretende realizar una serie de talleres de capacitación de los beneficiarios directos en el GAGE –Gestión del Agua para el consumo humano, de acuerdo con las orientaciones metodológicas y del contenido del IABS/MDS, así como la realización de un taller de capacitación de albañiles, llamados en la zona *pedreiros*.

En lo que se refiere a la construcción, se explican las características que deben tener las escuelas beneficiarias y las fases con especificaciones técnicas.

Es necesario, por ejemplo, tener en cuenta que las cisternas deben estar enterrada de 1/2 a 2/3 de su altura. Además, debe estar situada a 10 metros de gallineros, árboles, fosas sépticas y

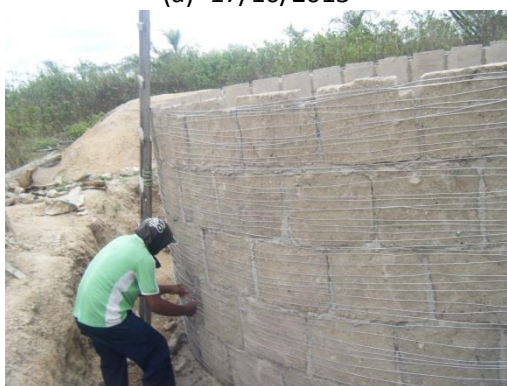
depósitos de basura. Su totalidad consiste en placas de cemento con tamaño de 40 por 50 centímetros, y con 4 a 5 centímetros de espesor, curvadas de acuerdo con el radio proyectado en la pared de la cisterna. Las placas están fabricadas en el local de construcción en moldes de madera o hierro. Para evitar que la pared se caiga, durante la construcción, las placas son colocadas con argamasa de cemento y se espera un período de 8h para que la masa del cemento esté seca Figura 1 (a). En seguida, se enrolla alambre de acero galvanizado en el lado externo de la pared de la cisterna. Después, es hecho un pretensado en cada alambre de acero que rodea la cisterna para mejorar la fijación y soporte de presión después del llenado Figura 1 (c). Entonces, se procede con el revoco interno y externo.



(a)- 17/10/2013



(b)- 18/12/2013



(c)- 24/10/2014



03/12/2014

Figura 1. Fotos de los *pedreiros* construyendo las cisternas: (a)- haciendo moldes de las viguetas; (b) – secando placas de la cubierta; (c)-haciendo pretensado y – (d)- cubriendo cisterna.

A continuación, se construye la cubierta con otras placas pre-moldeadas en formato triangular, usando una mezcla de argamasa más reducida Figura 1-(b), éstas son colocadas encima de vigas de hormigón armado Figura 1-(d) y de inmediato se hace el revoco externo de la cubierta. Después del secado del cemento, se debe pintar toda la cisterna con cal.

Son parte de la construcción, también: la excavación, la reforma del tejado, la instalación de la bomba Carcará 2 para la retirada del agua, la instalación de las tuberías, canalones y finalmente la identificación por medio de una placa numerada.

La reforma en el tejado consiste en realizar un retejado, lavado y desinfección, forrado con lona plástica de 150 micras, con la función de mejorar la recogida de agua y controlar las enfermedades provocadas por pardales y murciélagos. Serán excluidas aquellas escuelas que tengan un tejado inadecuado, en materia (de paja por ejemplo), con un área inferior de captación de 100 m² o con un estado de conservación del tejado inadecuado.

La cisterna está considerada construida (finalizada), solo una vez que sea identificada, georreferenciada, fotografiada y que la comunidad escolar por medio del director de la escuela firme un contrato declarando la recepción de la cisterna en perfecto estado.

BOMBA CARCARÁ II

Con un equipo formado por 6 técnicos, y con una trayectoria de más de 10.000 bombas Carcará 1 confeccionadas para el Programa de Cisternas domiciliarias en los últimos años, el equipo de Taper es el encargado de la fabricación de las 108 bombas Carcará 2 para las cisternas de las escuelas. La bomba Carcará 2 pretende ser más práctica, además de ser más económica en comparación con su antecesora (cuyo coste aproximado es de 100 R\$ frente a los 130 R\$ de la bomba Carcará 1). La experiencia ha demostrado que la instalación de la bomba en la cisterna es clave para su durabilidad, ya que algunas de las bombas instaladas perdieron su parte inferior por no ser pegadas con cola, quedando inoperativas y sin mantenimiento ofrecido.

Su funcionamiento es similar a la bomba Carcará 1 basándose en el principio de desplazamiento positivo, también dispone de dos válvulas de retención que solo dejan pasar el agua en un sentido. Cuando se sube el pistón, se ejerce presión negativa en la válvula inferior subiendo la bola de cristal dejando que pase agua en el interior llenándose el espacio existente y a su vez también en la reducción cónica de 40x25 haciendo que esta válvula se cierre e impidiendo que el agua en su parte superior baje. Luego al bajar el pistón se aumenta la presión sobre el agua en el interior haciendo que la válvula en la reducción cónica 50x25 se cierre y la válvula en la reducción 40x25 se abra, dejando así que el agua salga al exterior completándose así el ciclo de bombeo (Polo Castano, González Abelleira, & Ramos, 2013).

2.2. GRADO DE AVANCE DEL PROYECTO “ÁGUA PARA EDUCAR”

El plazo final del Proyecto para la construcción de las 108 cisternas finalizaba el pasado mes de Marzo del 2014. Sin embargo, problemas internos en CONDRI –principalmente en las licitaciones de materiales- provocaron un acusado e inesperado retraso frente al cronograma inicial. Y consecuentemente, cambios obligatorios en la metodología de la Evaluación, modificaciones en la Evaluación técnica y en el análisis de la calidad del agua.

El grado de avance referido a la construcción del Proyecto en Marzo del 2014 se resume en la Tabla 1. En el ANEXO III se adjunta una foto de cada una de las cisternas construidas. En resumen, hay 19 cisternas construidas, de las cuales 3 aún no se han lavado y hay otras 2 en las que está iniciada la construcción. Se construyó otra cisterna en una escuela abandonada, por lo que se excluyó del estudio.

Tabla 1. Grado de avance del Proyecto Cisternas 3ª Agua a 14 de Marzo del 2014.

COMUNIDAD ESCOLAR	MUNICIPIO	FECHAS		
		FINALIZACIÓN CISTERNA*	LAVADO	INSTALACIÓN BOMBA
Sítio cajarama	Major Isidoro	dic- 12	ene-12	oct-13
Sítio Riachão dos Alexandres	Major Isidoro	dic-12	ene-12	mar-13
Lagoa dos Cágados	Major Isidoro	nov-13	nov-13	nov-13
Sítio Bezerra	Major Isidoro	nov-13	nov-13	nov-13
Sítio Paraíso	Major Isidoro	dic-13	feb-14	ene-14
Povoado Pedrão	Óllo de Agua das Flores	dic-12	dic-12	nov-13
Sítio Gato	Óllo de Agua das Flores	dic-12	nov-13	nov-13
Sítio Poços	Óllo de Agua das Flores	dic-12	dic-13	nov-13
Salgadinhos	Carneiros	ene-14	ene-14	ene-14
Alto do Couro	Senador Rui de Palmeiras	ene-14	feb-14	ene-14
Malhadinha	Senador Rui de Palmeiras	oct-13	Sin lavar	nov-13
Poço salgado	Senador Rui de Palmeiras	oct-13	dic-13	nov-13
Logrador	Senador Rui de Palmeiras	ene-14	ene-14	ene-14
Baixa grande	São José da Tapera	nov-13	dic-13	nov-13
Bananeira	São José da Tapera	feb-13	Sin lavar	feb-13
Sítio Lagoa da Cobra	São José da Tapera	nov-12	feb-13	nov-12
Lage dos Canges	Olivenza	feb-13	Sin lavar	feb-13
Cova do casado	Canapi	nov-13	dic-13	dic-13
Vila San Antonio	Palestina	mar-13	Sin lavar	mar-13
Macenas	São José da Tapera	Realizada la excavación y con material		
Sítio Cacimba do Barro	São José da Tapera	Hecho el suelo y recibiendo material		

*Se refiere solamente al levantamiento de la cisterna, pudiendo tener deficiencias o errores constructivos

Además, está pendiente de realizar algunas de las capacitaciones de los beneficios planeados, así como parte de los consejos gestores, acordados realizar. Llama la atención el hecho de que se han realizado varios Consejos Gestores en escuelas donde todavía no se ha construido la cisterna.

3. ESTADO DEL ARTE

Este Capítulo pretende dar a conocer los fundamentos teóricos y las bases en las que se asienta el Trabajo aquí escrito. En primer lugar, se presenta el panorama general y mundial del acceso a agua potable. A continuación, a escala regional (Semiárido brasileño) y local (*Sertão de Alagoas*) en el uso de las cisternas. En el apartado 3 se expone una síntesis de los trabajos y resultados más relevantes sobre calidad del agua en el Semiárido Brasileño. En último lugar, una breve descripción de los métodos de análisis microbiológico en Desarrollo o Ayuda humanitaria.

3. 1. AGUA Y DESARROLLO

La falta de acceso al agua potable y a sistemas de saneamiento adecuados es una limitación fundamental para el desarrollo de un país. En la Figura 2 se muestra la estrecha relación entre los niveles de desarrollo humano medido por el indicador IDH y los de cobertura de abastecimiento del año 2010. De acuerdo con la gráfica, se comprueba que cuanto mayor es el IDH, mayores son los niveles de cobertura de acceso a agua potable de los países del mundo.

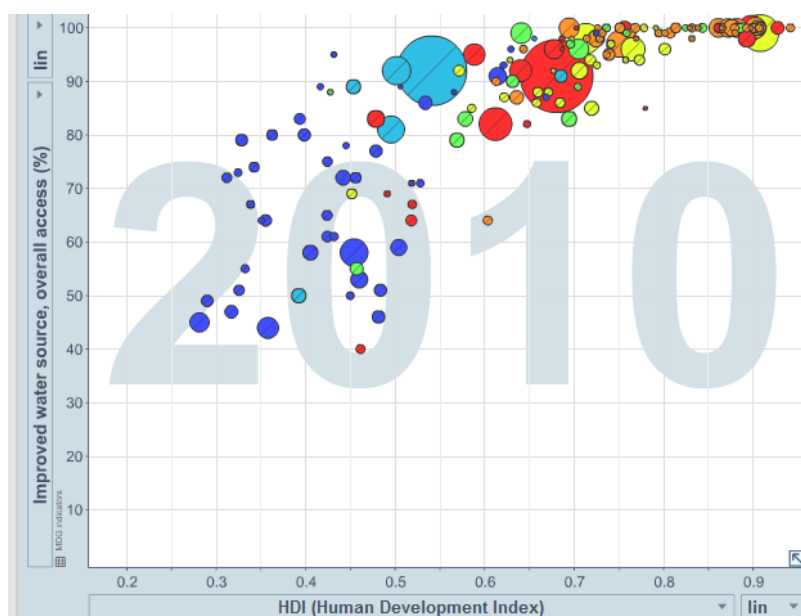


Figura 2. Relación entre la cobertura de abastecimiento de agua y el índice de desarrollo humano por países (colores) en el año 2010. Diámetro proporcional al número de habitantes de cada país. Fuente: www.gapminder.org, consulta 2014. Datos de Naciones Unidas para el índice de Desarrollo Humano (Informe de Desarrollo Humano) y fuentes mejoradas de agua potable (Indicadores de los Objetivos de Desarrollo del Milenio).

ACCESO A AGUA POTABLE: INDICADORES

El acceso a agua potable se contempla en los Objetivos del Milenio (ODM) dentro del Objetivo 7- Asegurar la sostenibilidad del medio ambiente-, y más concretamente queda explícitamente mencionado en la meta 10: Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible a agua potable y a servicios de saneamiento básicos (Naciones Unidas, 2000).

En el último informe de los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM) (Naciones Unidas, 2013) se demostró que en el año 2011 ya se había logrado la meta. De este modo como se ilustra en el Gráfico 1, el acceso a agua potable en el año 1990 (línea de base) en términos globales era del 76%, lo que implicaba que; por un lado, el 24% de la población no tenía acceso a agua potable y por otro lado que, para que se cumpliera la meta en el año 2015 el acceso a agua potable debería de aumentar del 76% al 88%. En efecto, en el año 2011 se consiguió alcanzar el 89% de personas con acceso a agua potable, cumpliéndose la meta cinco años antes de lo establecido.

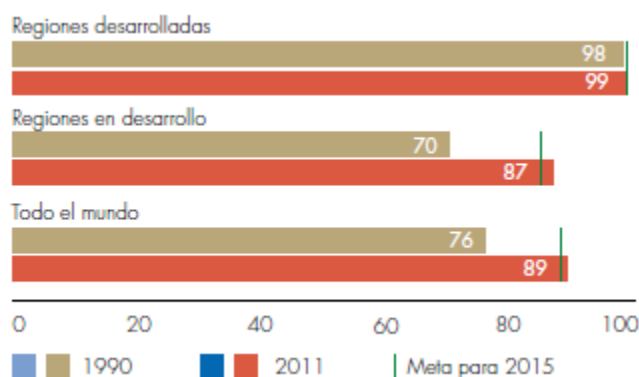


Gráfico 1. Proporción de la población que usa una fuente mejorada de agua en 1990 y en 2011. Fuente: Informe 2012 de Naciones Unidas Objetivos del Milenio (Naciones Unidas, 2013).

No obstante, el tipo de indicador que se usa para medir el porcentaje de personas con acceso a agua potable es, tener acceso a una fuente mejorada de agua, definiendo esta última según la siguiente Tabla 2. En general, se considera a una fuente mejorada de agua potable cuando se añadió algún elemento de protección física (por ejemplo para evitar las heces de los animales). Hecho que sin duda, aumenta la probabilidad de disponer de agua potable que las fuentes no mejoradas, pero que al mismo tiempo es insuficiente para garantizar el bienestar humano. Además, existen todavía 768 millones de personas sin acceso a fuentes mejoradas de agua.

Tabla 2. Indicadores de fuentes mejoradas y no mejoradas de agua (**World Health Organization/UNICEF, 2005**)* El agua embotellada no se considera una fuente mejorada de agua debido a sus limitaciones en el suministro, no en su calidad.

FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEJORADAS	FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE NO MEJORADAS
Conexión de los hogares	Pozo no cubierto
Fuente de agua pública	Fuente no cubierta
Pozo	Ríos o estanques
Pozo excavado cubierto	Aguas suministrada por vendedores
Fuente protegida	Agua embotellada*
Recolección de agua de lluvia	Agua de camión cisterna

De este modo, la relación de causalidad que se deduce entre la proporción de personas que tienen acceso a agua potable y el indicador que se usa para su cuantificación, adolece de los siguientes aspectos: la funcionalidad de los puntos de agua, no hace referencia a la distancia del punto de agua con referencia al hogar, no se indica si el caudal es suficiente que proporciona el punto de agua, ni el número de personas que suministra un mismo punto de agua, ni la accesibilidad económica, la periodicidad y sobre todo, no se tiene en cuenta si el agua es potable. El mismo informe de Naciones Unidas del 2013, estima que la cantidad de personas sin acceso a agua potable podría ser 2 o 3 veces más.

Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la Esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria o el dengue, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la Legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos (Organización Mundial de la Salud, 2014)

Todas estas dimensiones de lo que se puede entender por acceso a agua potable generan un número ingente de indicadores, por lo que han surgido el uso de índices agregados, como el *Water Poverty Index* que propuso (Sullivan, C., 2002) combinando variables de distinta naturaleza (física, social, económica, medioambiental). Ello ha proporcionado a los responsables políticos una herramienta de gestión válida y eficaz para apoyar los procesos de toma de decisión.

No obstante, la proliferación para evaluar diferentes esferas del Desarrollo -(IDH, índice tecnológico, índice de sostenibilidad ambiental, etc.) no han estado exenta de críticas. Principalmente se cuestiona la idoneidad de las técnicas empleadas para la agregación de las distintas variables que componen el índice, el tipo de método de agregación y la posible correlación entre variables.

El próximo año, 2015, los ODM pasarán a llamarse ODS –Objetivos de Desarrollo Sostenible-, y actualmente su alcance y definición está en un proceso tremendamente complejo por la involucración tanto de los países desarrollados como los países en desarrollo, la sociedad civil, la

juventud, el sector privado, las comunidades locales, los parlamentarios, las personas viviendo en la pobreza y los grupos marginados. Existen aspectos en los que la mayoría de los actores involucrados convergen y otros que aún están en debate por grupos hasta Septiembre del 2015. Referente al acceso al agua, será el ODS número 6, que tiene ya incluido los siguientes aspectos: Derechos humanos, gobernanza, eficiencia y calidad del agua. Otros aspectos siguen en discusión, así como muchos de los indicadores, pero en cualquier caso la calidad del agua será finalmente incluida (Canal Isabel II, 2014).

CAMBIO CLIMÁTICO Y AGUA

Así se llama el Informe del IPPC (Documento técnico VI del IPPC) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008), en el que se analiza los efectos del cambio climático sobre el recurso del agua y se exponen los resultados de las proyecciones. En la Figura 3 se exponen algunos ejemplos de vulnerabilidad actual de recursos de agua dulce y de su gestión, entre ellos la erosión y sedimentación del Nordeste de Brasil.

Las proyecciones indican que el aumento de temperatura del agua y la variación de los fenómenos extremos, incluidas las crecidas y sequías, afectarán a la calidad del agua y agudizarían la polución del agua por múltiples causas, desde la acumulación de sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, patógenos, plaguicidas o sal hasta la polución térmica, con posibles efectos negativos sobre los ecosistemas, la salud humana, y la fiabilidad y costes de operación de los sistemas hídricos.

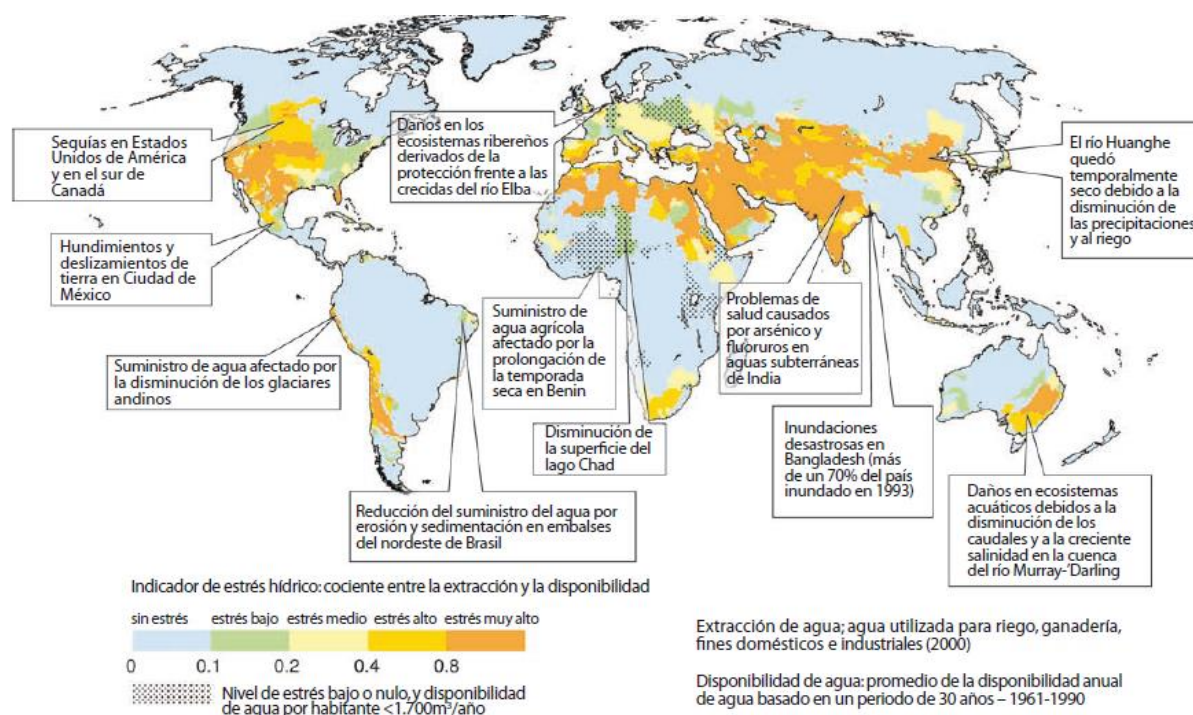


Figura 3. Ejemplos de vulnerabilidad actual de recursos de agua dulce y de su gestión, basado en el modelo de Water WAP (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008)

Los lugares del planeta en que más pelagra el suministro de agua dulce por efecto del cambio climático son las islas pequeñas, los países áridos y semiáridos en desarrollo, las regiones que obtienen el agua dulce de ríos alimentados por la fusión de los glaciares o por el deshielo estacional, los países con una alta proporción de tierras bajas costeras y las megalópolis costeras, particularmente en la región de Asia y el Pacífico.

3.2. CISTERNAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

Las cisternas de captación de agua de lluvia forman parte de las llamadas Tecnologías sociales -TS, definidas por la Rede de *Tecnologías Sociais*, RTS (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia , 2014) como el conjunto de productos, técnicas y/o metodologías replicables, desarrolladas en interacción con la comunidad y que representan soluciones efectivas de transformación social.

El Sistema de Captación de agua de lluvia en cisternas presenta las siguientes ventajas: Puede ser cubierto, de modo que no hay pérdidas significativas de evaporación; capta agua en la época de lluvia y la almacena durante el período de época lluviosa; la cisterna es construida próxima a la residencia, evitando recorridos largos para conseguir el agua diaria, restando tiempo libre para desenvolver otras actividades; y con los cuidados adecuados, el agua almacenada puede ser de calidad superior a otras aguas de distinta procedencia (Carneiro Tavares, 2009). Por otra parte, han demostrado tener gran potencial para hacer frente a las adversidades climáticas, al mismo tiempo que suponen una importante contribución a las estrategias de desarrollo del semiárido brasileño (Cardoso Ventura, Fernández Garcia, & Gualdani, 2013).

Una de las ambiciones de esta red de difusión de las TS es la adopción de TS como políticas públicas. Para el caso de las cisternas de captación de agua lluvia, este propósito ya fue conseguido, de la mano de la Política Publica destinada a la construcción de 1 millón de cisternas de captación de agua de lluvia, P1MC que se describe en los párrafos siguientes.

Las cisternas o aljibes de captación de agua de lluvia forman parte de las estrategias de Adaptación al Cambio Climático. En efecto, en el Informe del IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008) se nombra como ejemplo de desarrollo sostenible en los trópicos semiáridos.

EI SEMIÁRIDO BRASILEÑO

En el año 2005, el Ministerio de Integração Nacional de Brasil formó el Grupo de Trabajo Interministerial –GTI para delimitar el nuevo Semiárido brasileño –SAB- , ya que los estudios climáticos revelaban que la sequía se producirán no tanto por su escasez de lluvias, sino por su

heterogénea distribución y elevada evapotranspiración, por lo que surgía redefinir la extensión del SAB conforme estuviese integrado por todos los Municipios del Nordeste Brasileño que presenten vulnerabilidad a la sequía (Ministério da Integração Nacional, 2005).

Con este objetivo, el GTI delimitó el nuevo SAB por aquellos Municipios que cumplan al menos una de las siguientes condiciones:

- Precipitación pluviométrica de media anual inferior a 800 milímetros.
- Índice de aridez de hasta 0,5 calculado por el balance hídrico que relaciona las precipitaciones y la evapotranspiración potencial ($I=P/EP$), en el período entre 1961 y 1990.
- Riesgo de sequía mayor del 60%, tomando como base el período de 1970 e 1990.

Desde entonces, 1.133 Municipios (antes 1.031) forman parte del SAB, con una extensión de 969.589,4 km² y en distribuida en 9 Estados: Alagoas, Bahia, Sergipe, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Estado de Piauí y Río Grande del Norte. Se puede ver el mapa de la zona en la **Figura 4-(b)**.

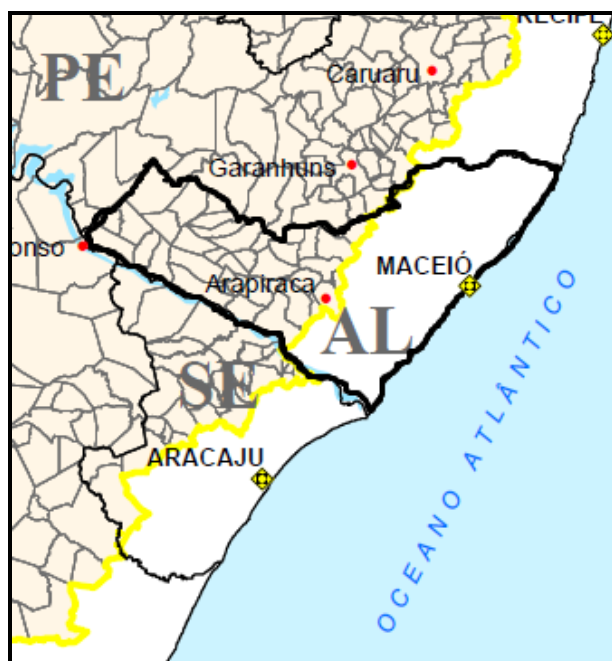
El bioma característico del SAB, el mayor bosque tropical seco de América Latina, es la Caatinga. La Reserva de la Biósfera de la *Caatinga* (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2001), se caracteriza por una vegetación constituida especialmente por especies leñosas y herbáceas de pequeño porte, generalmente dotadas de espinas. Los ríos, en su mayoría, son intermitentes y de régimen estacional, y el volumen de agua, en general, es limitado, siendo insuficiente para la irrigación. La altitud de la región varía de 0 a 600 metros. La temperatura media varía de 24 a 28° C, la precipitación media es de 250 a 1000 mm y el déficit hídrico es elevado durante todo el año.

En el SAB son frecuentes los años sin lluvias, que están caracterizados por la ocurrencia de hambruna y migraciones en gran escala hacia las áreas metropolitanas. Además, es una región altamente vulnerable al cambio climático: el incrementado de la evapotranspiración y reducción de la humedad del suelo han contribuido a la aparición más frecuente de sequía (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997). El IPPC prevé también, en áreas semiáridas y áridas, que como consecuencia del cambio climático se acentúe la salinización de las aguas subterráneas poco profundas, debido concretamente al aumento de la evapotranspiración.

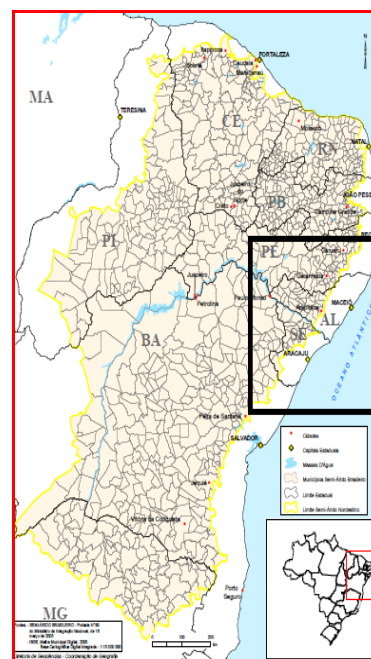
EL SERTÃO ALAGOANO

El Estado de Alagoas tiene un área territorial de aproximadamente 27.779,34 km² y según los datos del último Censo Demográfico hecho por el IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010), posee una población de cerca de 3.120.494 habitantes.

Se caracteriza por presentar una elevada vulnerabilidad a la sequía, debido a que el 42,80% de su territorio se encuentra en la llamada región sarteneja, y sus peculiares características -déficit hídrico y elevada evapotranspiración- son propias del SAB que antes se comentaba. Figura 4-(a).



(a)-Mapa de Alagoas, AL. *Sertão de Alagoas* en área sombreada.



(b)- Mapa del Semiárido Brasileiro (área sombreada).

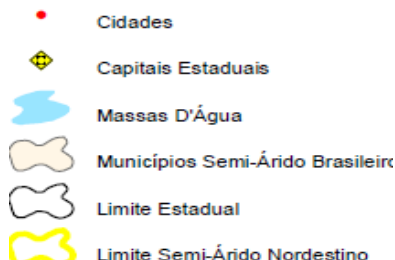


Figura 4. Mapas: (a) –Mapa del Estado de Alagoas (AL) y (b) – Mapa del Semiárido Brasileiro. Datos del IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007)

Se muestra en la siguiente Tabla 3 la forma de abastecimiento de agua en el Estado de Alagoas en el año 2010 por domicilios. En ella, se aprecia que existen 22.693 domicilios (2,69% con respecto al total) todavía dependientes de aguas superficiales y un 1% por carro pipa, todas ellas fuentes no mejoradas de agua –según la clasificación de la OMS/UNICEF (World Health Organization/UNICEF, 2005). Por otro lado, se puede ver que ya en el año 2010 existían un 3% de la población que se abastecía por cisternas de captación de agua de lluvia, habiendo aumentando este número como consecuencia del P1MC. Debemos, además, considerar que los datos no distinguen entre zona rural y urbana, siendo claramente mucho menor el acceso a la Red General en la zona rural.

Tabla 3. Forma de abastecimiento en agua de Alagoas: Elaboración propia a partir de datos de IBGE
(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010)

DOMICILIOS	Nº	%
Total	842.804	100
Urbanos	638.062	74,7
FORMA DE ABSTECIMIENTO EN AGUA DE LOS DOMICILIOS	Nº DOMICILIOS	%
Red general	578.387	68,62
Pozo o manantial en la propiedad	76.283	9,05
Pozo o manantial fuera de la propiedad	103.449	12,27
Carro pipa	8.919	1,06
Agua de lluvia en cisterna de captación	26.189	3,11
Agua de lluvia captada de otra forma	2.751	0,33
Río, estanque, lago o arroyo	22.693	2,69
Pozo o manantial en el pueblo	93	0,01
Pozo o manantial fuera del pueblo	7	0,00
Otras	24.113	2,86

Se puede ver en la Figura 5 los principales aductores de la red de abastecimiento de la zona, responsabilidad de la empresa CASAL. Vemos en rojo las líneas de flujo que abastecen las comunidades del proyecto.



Figura 5. Principales adutoras de la CASAL en Alagoas.

Además, está en fase de construcción el denominado *Canal do Sertão*, que midiendo 240 km ira desde *Delmiro Gouvea a Arapiraca*, destinado principalmente para la irrigación. Existen opiniones muy variadas, algunos están a favor diciendo que ayudará a combatir el déficit hídrico, otros afirman que solo beneficiará a los grandes hacenderos, además de que ocasiona grandes problemas medioambientales.

PROGRAMA “UM MILHÃO DE CISTERNAS RURAIS (P1MC)”

Iniciado en Julio de 2002, el Programa “*Um milhão de cisternas rurais*” –P1MC, forma parte de una de las acciones del Programa “*Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semi-Árido*”, desencadenando un movimiento de articulación y de convivencia sostenible con el Semiárido, a través del fortalecimiento de la sociedad civil, de la movilización, involucramiento y capacitación de las familias, con una propuesta de educación procesal.

EL P1MC fue concebido y articulado por la *Articulação do Semi-Árido Brasileiro* (ASA) –una red formada por más de mil ONG que actúan en la gestión y el desenvolvimiento de políticas de convivencia con la región del SAB; y financiado por el Gobierno Federal.

El principal objetivo del P1MC es beneficiar a cerca de 5 millones de personas en todo el SAB, con agua potable para beber y cocinar, a través de las cisternas de placas. Actualmente, (Junio del 2014) existen un total de 529.912 de cisternas construidas (ASA, 2014).

Algunos resultados sobre el Programa P1MC han sido abordados por diferentes autores con resultados diversos. En el siguiente Capítulo, se hace referencia a algunos de ellos cuyos resultados tienen especial interés en la calidad del agua o en la construcción de la cisterna.

3.2. LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS CISTERNAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO

Durante esta última década, aproximadamente, se han ido publicando varias investigaciones de la calidad del agua de las cisternas de captación de agua de lluvia del SAB, muchas de ellas en los “*8 Simposios Brasileiros de Captação e Manejo de Água de Chuva*” bajo el marco de la “*Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva*”- ABCMAC -, fundada en 1999 en Petrolina, Pernambuco (Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva -ABCMAC, 2000); en buena parte como consecuencia del aumento de las cisternas por el programa P1MC y de la preocupación extendida de la calidad del agua en las mismas.

Los resultados de estos estudios muestran que en todas o muchas de las cisternas existe contaminación microbiológica. Por otro lado, la contaminación físico-química es mucho menos frecuente. Algunos ejemplos de estos resultados se comentan brevemente en las siguientes líneas.

En el Semiárido Pernambucano se encontró presencia de coliformes totales en todas las muestras y el 73,8% contenían E-coli (Alves, 2012). El mismo porcentaje de E-coli fue detectado en la misma zona, donde además se constató que en muchos de ellos no usaban cloro para desinfectar (Brito & Porto, 2005). En Petrolina, también en Pernambuco, se halló contaminación fecal en todas las cisternas evaluadas y la ausencia de medidas de prevención de contaminación y de desinfección por cloro (Cleide Cavalcante de Amorim, 2001).

En el SAB de Minas Gerais se diagnosticó coliformes fecales en todas las cisternas. Además de ausencia del cloro necesario y PH muy elevados, debido al hecho de estar almacenado en cisternas de cemento (Ventura da Silva, 2006).

En la Región de Serrinha, perteneciente al SAB de Bahía, los valores de los parámetros biológicos dieron positivo en todas las muestras (un total de 72) (Freitas dos Santos, Angelico Araújo, & Silvio Roberto, 2012).

La contaminación del agua en cisternas de captación de agua de lluvia generalmente ocurre en la superficie de captación- bien sea tejado, suelo, u otra superficie preparada o natural-, o cuando está almacenada de forma no protegida. Cuando el agua se desliza sobre la superficie de captación, el agua de la lluvia lava esta superficie arrastrando la suciedad –pequeños animales muertos, excrementos de aves y roedores, escombros, polvo y microorganismos- acumulada en el intervalo de dos lluvias.

La contaminación posterior, en la retirada de porciones de agua o en el mal uso, ocurre con frecuencia pero es menos importante que la contaminación de toda el agua almacenada (Neto, Proteção Sanitária das cisternas rurais, 2004).

EL CAMINO DEL AGUA

Resulta muy apropiado utilizar el concepto “camino del agua” para referirse al recorrido del agua desde su origen hasta el punto directo de utilización en las escuelas, con intención de hacer hincapié y recoger todas las posibles causas y/o vías de contaminación desde la llegada del agua a la cisterna hasta su consumo. De este modo, es posible diferenciar varios puntos críticos de contaminación: contaminación en el origen, en la cisterna, en la extracción del agua de la cisterna y en el camino desde la extracción hasta su uso. La Figura 6 propuesta por (Spinks, Coombes, Dunstan, & Kuczera, 2003) muestra una secuencia del camino del agua; sus puntos críticos y sus tratamientos.

En primer lugar, el riesgo de contaminación depende de su procedencia. De modo general, en el ámbito rural, lejos de las zonas industrializadas y por consiguiente, sin contaminación atmosférica, el agua de la lluvia presenta calidad aceptable para el consumo humano, debido al proceso de destilación natural del ciclo hidrológico. Aun así, el agua de la lluvia es muy susceptible de contaminarse desde el área de captación hasta la cisterna. El descarte de las primeras aguas de cada lluvia es crucial para garantizar la calidad del agua, y en caso de ser efectuada manualmente debe establecerse un procedimiento que asegure su buena gestión. Del mismo modo, la manutención de los canalones, tuberías y el lavado del tejado anual son clave para el cometido.

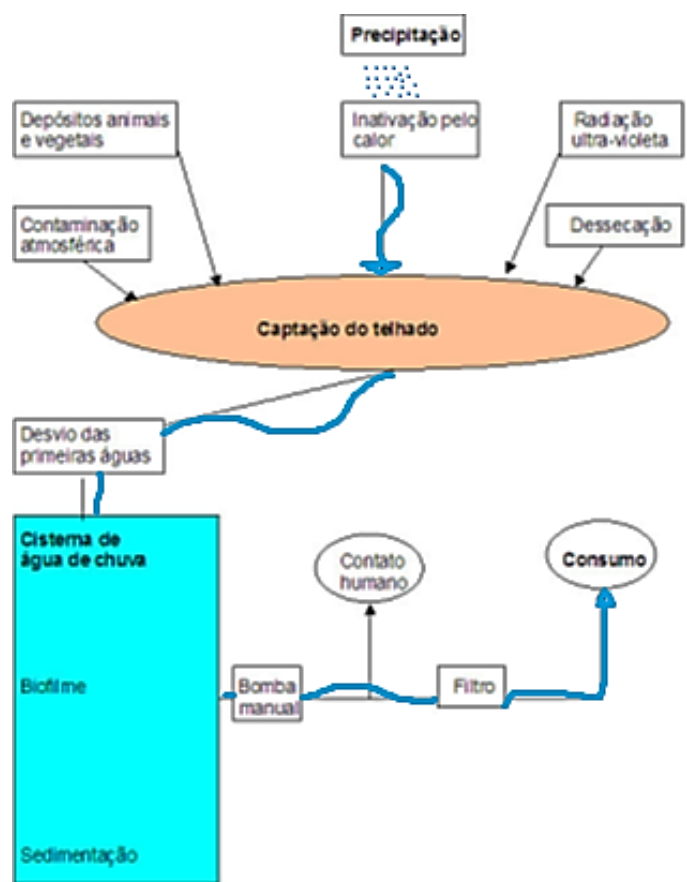


Figura 6. Secuencia de posible contaminación y tratamiento en un Sistema de Captación de agua de lluvia con cisterna: Fuente: (Gnadlinger, 2007) a partir de (Spinks, Coombes, Dunstan, & Kuczera, 2003)

El riesgo de contaminación en la propia cisterna puede ser reducido adoptando medidas preventivas. En primer lugar, la cisterna no debe ubicarse en locales próximos a gallineros, fosas sépticas, etc... El rebosadero de la cisterna y otras entradas de la cisterna deben estar protegidos de la entrada de animales y la entrada del agua de lluvia debe diseñarse de modo que no se produzca turbulencia, para no remover el lodo sedimentado en el fondo. Así mismo, el exceso de material o ausencia de lavado puede provocar el desprendimiento de cemento en el agua de la cisterna. La bomba desempeña un papel fundamental para prevenir la contaminación en la extracción del agua de las cisternas.

Finalmente, el camino del agua realiza su último eslabón desde la retirada del agua hasta su uso. El uso de recipientes lavados adecuadamente y categorizados por usos, además de filtración y cloración, deben ser realizados en la medida de lo posible.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS CISTERNAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.

El camino del agua en los Sistemas de captación de agua de lluvia está condicionado por muchos factores, que influyen, determinan o modifican la calidad del agua de las cisternas. Algunos de ellos tienen la capacidad de cambiar el agua desde su consideración no potable a la aceptable para la salud humana, otros simplemente la pueden mejorar, pero en cualquier caso es crucial entender estos factores para minimizar los riesgos de contaminación y estimar los mecanismos sanitarios más adecuados. Varios autores diferentes han estudiado la calidad del agua de las cisternas (principalmente del SAB), estableciendo relaciones causa-efecto y proponiendo mejoras en consecuencia. A continuación, se informa de los factores más importantes.

El dimensionamiento de la cisterna puede influir en la calidad del agua, ya que un sobredimensionamiento, además del desperdicio de material que lógicamente ello implica, provoca que el volumen de agua nunca se consuma del todo, dificultando la limpieza para eliminar los sedimentos acumulados en el fondo (Ventura da Silva, 2006).

La calidad del agua de lluvia, directa de la atmósfera puede estar contaminada por pesticidas, hidrocarburos aromáticos de emisiones urbanas e industriales, emisiones de la quema de residuos, etc... (Heijnen, 2012). Sin embargo, el SAB no posee prácticamente industria, y como demuestran estudios, el agua recolectada directamente de la atmósfera presenta mejor calidad que la recolectada en los tejados, reforzando que las mayores alteraciones de la calidad del agua de lluvia ocurren después de pasar por la superficie de captación (Hagemann, 2009).

Algunos trabajos, (Carneiro Tavares, 2009) obtuvieron resultados mejores en aguas de la lluvia que en las cisternas con agua mezclada de lluvia y de carro pipa. Por lo que la calidad del agua está asociada también con la procedencia del agua.

El tiempo transcurrido desde la última lluvia parece también influir considerablemente en la calidad microbiológica. Algunos autores hablan de la “ecología de las cisternas” (Gnadlinger, 2007), refiriéndose a la capacidad de las cisternas de tratar el agua. Aunque el comportamiento exacto de las cisternas es poco conocido, en general se acepta que cuando entra agua contaminada ocurren dos fenómenos simultáneos: Muchas bacterias se aglomeran en sustancias formando una micro-camada en la superficie y en la pared de la cisterna, como un biofilme; y al mismo tiempo otros materiales precipitan en el fondo de la cisterna. Estos dos procesos biofísicos son los que más benefician la calidad del agua, pues concentran la contaminación en dichos puntos.

En coherencia con esta idea, (Martinson & Thomas, 2003) estudiaron la influencia de las lluvias al transcurso de los días con el número de bacterias (Gráfico 2). En ella, se puede observar que después del evento de las lluvias surgía inmediatamente la contaminación, pero a medida que transcurrían los días disminuía debido principalmente a la sedimentación de bacterias y muerte bacteriana. La velocidad de muerte de las bacterias puede acelerarse si se disminuye el número de

nutrientes en la entrada del agua, como por ejemplo por filtración gruesa o fina o desvío de las primeras aguas.

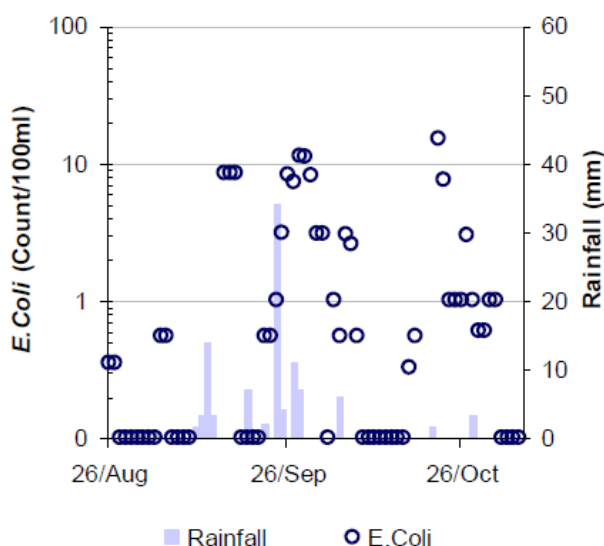


Gráfico 2. Ocurrenia de bacterias después de las lluvias en cisternas de Etiopía (Martinson & Thomas, 2003)

La época del año: Aunque anteriormente se comentaba que las bacterias aparecerían con la lluvia, en general, hay muchos estudios que corroboran que la calidad microbiológica mejora en la época de lluvias (Carneiro Tavares, 2009) (Ventura da Silva, 2006). Ello se debe a que las lluvias son más frecuentes y existe menos tiempo de acumulación de sedimentos, además de una mayor dilución. Así, se produce una alta contaminación después de la primera lluvia, pero en las sucesivas ella decrece o se hace nula (World Health Organization, 2011). Son entonces, mucho más peligrosas las lluvias discontinuas y aisladas de la época seca.

Las barreras sanitarias de prevención son muy importantes en este tipo de abastecimiento, en el cual la lluvia originalmente no está contaminada, y por tanto, adecuados cuidados podrán asegurar la potabilidad. Existen varios medios de captar y tratar el agua para que se vuelva aceptable, pero algunos de ellos son demasiado sofisticados o caros, y el objetivo es facilitar la vida de las personas en la obtención del agua, sin el empleo de aparatos complejos, en los cuales perdería sentido la iniciativa. Pero existen algunas barreras físicas de protección sanitaria, simples y de bajo coste que puede resultar muy adecuado.

Además del dispositivo de retirada de primeras aguas, que se habla con más detalle en seguida, son ejemplos de buenas prácticas; cubrir la cisterna impidiendo la entrada abundante de luz e insectos; insertar rebosadero y ventilación – para propiciar la re-oxigenación del agua- y telas o mayas de plástico, nailon o metal en todas las salidas para evitar la entrada de pequeños animales.

Algunos autores aconsejan no colocar mayas antes de la desviación de las primeras aguas en la línea de flujo, porque si no la suciedad no sería eliminada en las primeras lluvias y quedarían

retenidas durante el llenado de la cisterna (Neto, Proteção Sanitária das cisternas rurais, 2004). Si pueden ser utilizadas después de la línea de flujo, pero siempre y cuando se tenga constancia de que se necesita hacer limpiezas periódicas.

Aún, en las situaciones en las que se cree conveniente incluir telas, es igualmente recomendado y mucho más relevante la retirada o desvío de las primeras aguas para eliminar hojas de árboles, polvo, excrementos de aves y pequeños animales, así como ellos mismos, que pueden residir en las tuberías, orificios o telas.

Estos dispositivos pueden ser manuales –simplemente retirando la conexión-, o automáticos, como los ejemplos que proponen varios autores y se esquematiza en la Figura 7. Estos son pequeños tanques para los cuales son desviadas automáticamente las primeras aguas de cada lluvia, mediante un T intercalado en la tubería. Según la mayoría de los autores este tanque debe estar diseñado por 1 litro cada m² de área de captación.

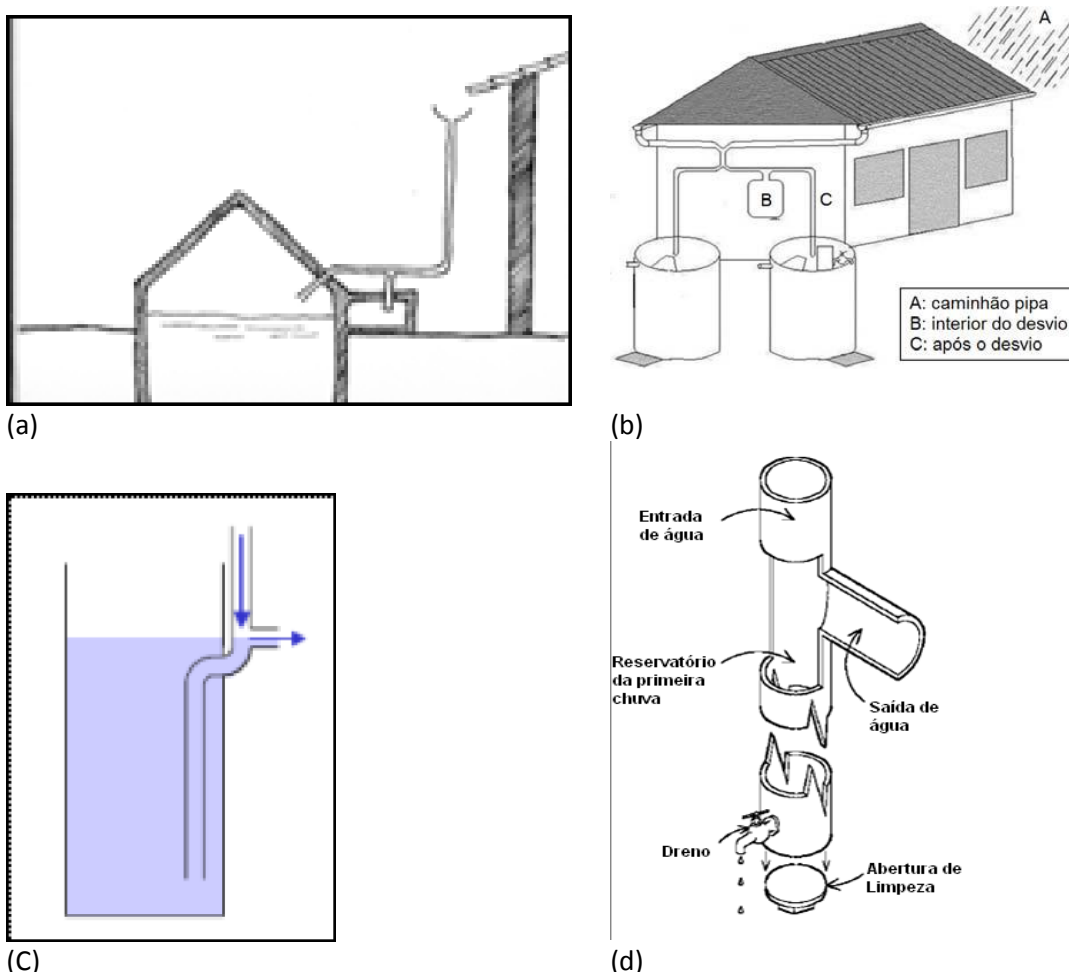


Figura 7. Dispositivos para la retirada de la primera agua propuesto por varios autores: (a)- (Neto, O descarte das primeiras águas e a qualidade da água, 2012); (b)- (Nóbrega, 2011); (c)- (Thomas, 2003); y (d)- (Texas Water Development Board, 2005).

Algunos estudios muestran la eficacia del dispositivo de retirada de primeras aguas. (Nóbrega, 2011) Nóbrega evaluó la aplicabilidad de los dispositivos de descarte de primeras aguas de lluvia como barrera sanitaria. Los resultados obtenidos se muestran en el Gráfico 3, revelando que tanto en la escuela como en el pueblo disminuyó los coliformes totales después del desvío, con respecto al interior del dispositivo (véase Figura 7 (b) para identificar los puntos de toma de muestra).

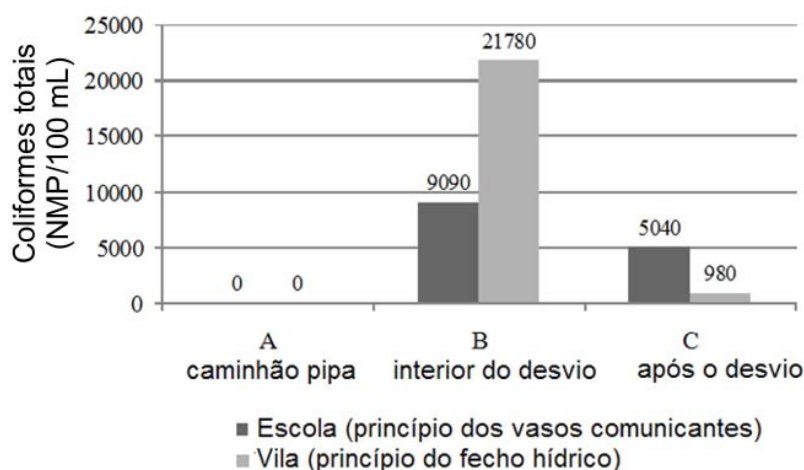


Gráfico 3. Comparativa de coliformes totales antes y después del dispositivo de primeras aguas en Municipios del SAB de Pernambuco. (Nóbrega, 2011)

Algunos defectos en la construcción de la cisterna tienen implicaciones en la calidad del agua. Por ejemplo, las grietas en el tanque pueden dar lugar a la contaminación del agua almacenada (World Health Organization, 2011). Otros problemas que pueden afectar son; el exceso de material, materiales diferentes a los especificados (como empleo de arena más gruesa), mano de obra no debidamente cualificada o el empleo de chapas de zinc -fácilmente deformables posibilitando la entrada de animales- (Carneiro Tavares, 2009).

La edad de la cisterna o el tiempo transcurrido desde su construcción también parece haber demostrado relación con la calidad microbiológica, en el Gráfico 4 se muestra valores más altos de E-coli en cisternas antiguas, de 2 a 3 años, que en cisternas recién construidas: El 45% no tenían E-coli en las nuevas (primer ciclo de lluvias), mientras solo el 12% no tenían en las cisternas (2-3 años).

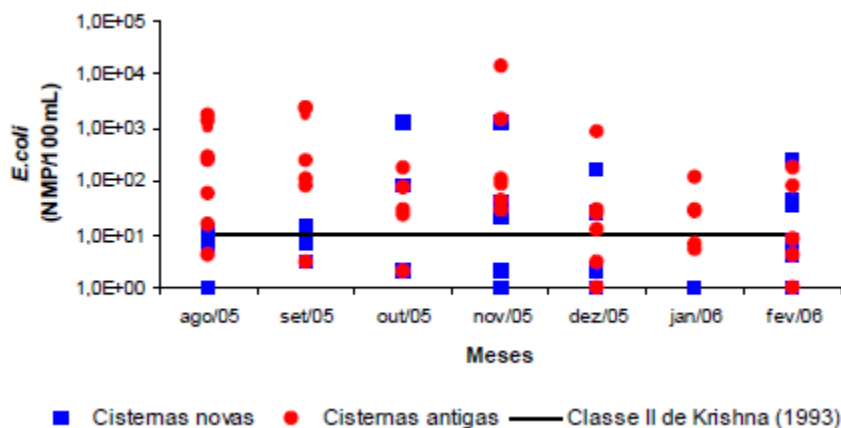


Gráfico 4. Comparación de E-coli en cisternas nuevas y antiguas (2-3 años) en el SAB de Minas Gerais:

Fuente: (Ventura da Silva, 2006).

Se acepta que existe una relación directa entre la retira del agua y la bomba, aunque no existen demasiado estudios que lo cuantifiquen, pero si algunos. Una investigación reciente verificó que el 94,12% de las familias que utilizaban solamente balde y cuerda registró los valores más altos de E-coli, mientras en las que utilizaban solo bomba registraron menores valores (Freitas dos Santos, Angelico Araújo, & Silvio Roberto, 2012).

Existe cierta controversia sobre el deber de tratamiento en el agua de las cisternas. Algunos autores afirman que el tratamiento del agua solo debe realizarse como medida correctiva, si hay sospecha de contaminación del agua, ya que el tratamiento requiere un entrenamiento más difícil de ser asimilado por los usuarios, tiene un coste considerable y existe el riesgo de falta de productos químicos cuando no pueden ser adquiridos a tiempo (Neto, Proteção Sanitária das cisternas rurais, 2004). Otros autores aseguran que debe ser siempre empleado, la Organización Mundial de la Salud también insisten que deba haber un tratamiento en el punto de consumo para asegurar la calidad. Recomiendan desinfección solar o el uso de cloración como ejemplos de desinfección de bajo coste (World Health Organization, 2011).

La Educación Sanitaria parece ser en definitiva uno de los factores más importantes. La contaminación del agua almacenada está asociada a las prácticas inadecuadas de las familias, entre ellas: preservación inadecuada del área de captación, no desviar las primeras aguas, criar peces en las cisternas, retirar agua con balde, dejar la cisterna abierta, principalmente (Freitas dos Santos, Angelico Araújo, & Silvio Roberto, 2012). Cuanto mejores sean los niveles de educación sanitaria y ambiental, más segura es la calidad del agua de las cisternas. La educación es obtenida de forma más permanente cuando se hace a través de la participación comunitaria, cuando el conocimiento no es solo repasado, sino también adecuado, renovado, discutido y asimilado (Neto, Proteção Sanitária das cisternas rurais, 2004).

LEGISLACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CISTERNAS EN BRASIL.

El primer problema al que uno se enfrenta al estudiar la calidad del agua almacenada en cisternas destinadas al consumo humano es la ausencia de una legislación específica para este tipo de agua. Una forma de controlar este inconveniente puede ser la utilización de patrones de referencia para el agua potable de sistemas de abastecimiento o de alternativos según la Portaria Nº518/2004. (Mninstério de Saúde de Brazil, 2004)

La Portaria Nº 518/2004 dice así *“toda a agua destinada ao consumo humano deve obedecer el patrón de calidad y estar sujeta a vigilancia de la calidad del agua”*. También define como solución alternativa de abastecimiento de agua para consumo humano *“toda modalidade de abastecimento coletivo de agua distinta del Sistema de abastecimento de agua, incluyendo, entre otras, fonte, pozo comunitario, distribución por vehículo transportador, instalaciones condominales horizontal y vertical”*. Bajo esta frase tan genérica, podremos también incluir las cisternas de agua de lluvia, y especialmente aquellas que son mezcladas con carro pipa.

Tabla 4. Patrones microbiológicos de potabilidad del agua para consumo humano. (Mninstério de Saúde de Brazil, 2004)

Parametro	VMP (valor máximo permitido)
Agua para consumo humano (poços, nascentes e outras)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100 mL
Agua na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Agua tratada no sistema de distribuição (reservatório e rede)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês. Os sistemas que analisam menos, apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 mL

A grandes rasgos, bajo esta legislación debe cumplirse; ausencia de E. Cherichia Coli o coliformes fecales (ver Tabla 4. Patrones microbiológicos de potabilidad del agua para consumo humano.); Cloro mínimo de 0,2 mg/L y un valor máximo permitido de 5 mg/L; la turbidez debe tener un valor inferior a 5 NTU. Estos valores coinciden con los exigidos por la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 2011)

Por otra parte, el PH tiene carácter no obligatorio y debe estar entre la franja de 6 a 9,5 unidades, mientras que para la OMS no debe exceder de 8,5 (pero también tiene carácter de sugerencia). Ambos aconsejan hacer la cloración a PH menor de 8. En cuanto a la conductividad deber ser inferior a 1400 μ S/cm. Se resumen estos parámetros en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros básicos de la calidad del agua de Brasil y de la Organización Mundial de la Salud.
Elaboración propia.

Parámetro	PORTARIA 514/2004	OMS
Coliformes fecales (colonias/100 MI)	0	0
Turbidez (NTU)	<5	<5
PH	6,5-9,5	6,5-8,5
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm.}$)	No se menciona	<1400
Cloro residual (mg/L)	>0 =0,2	> 0 = 0,2

3.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN DESARROLLO O AYUDA HUMANITARIA

Debido al pequeño tamaño de los microorganismos, la cantidad de información que puede obtenerse acerca de sus propiedades a partir del examen de los indicadores es limitada: en la mayoría de los casos el microbiólogo estudia poblaciones que contienen millones o miles de millones de individuos, las colonias. Tales poblaciones se obtienen al hacer crecer los microorganismos, en condiciones más o menos bien definidas, como cultivos.

La esencia de la microbiología la integran dos clases de operaciones: el *aislamiento*, que es la separación de un microorganismo determinado de las poblaciones mixtas que existen en la naturaleza, y el *cultivo*, que es el crecimiento de poblaciones microbianas en ambientes artificiales (Roger Y. Stanier, 1992). Normalmente, por su mayor conveniencia, en Desarrollo o ayuda humanitaria se realiza el cultivo de microorganismos de indicadores de contaminación fecal en vez del propio patógeno, ya que ello resulta más barato o fácil.

INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL

Los criterios de selección para determinar el “indicador” de contaminación fecal (World Health Organization, 2002) deben ser:

- el indicador debe estar ausente en aguas no contaminadas y presentes cuando los microorganismos patógenos de origen fecal también lo están
- debe estar en mayor número que el microorganismo patógeno, debe responder a las condiciones ambientales y a los tratamientos de manera similar que los patógenos; el indicador debe ser fácil de aislar, identificar y enumerar
- el test debe ser lo suficientemente económico para que se puedan hacer numerosos análisis;

- el indicador no debe ser un patógeno para minimizar los riesgos en salud del analista.

Las ventajas de los métodos por detección de indicador es que existen muchos métodos y han sido testados numerosas veces, están estandarizados y los costes de análisis de los indicadores son menores. El indicador más usado son los coliformes fecales o E-coli.

El termino coliforme fecal ha sido usado en microbiología para denotar a los organismos que crecen a 44 o 44.5 °C y fermentan la lactosa con producción de ácido y gas, pero en realidad no todos estos organismos tiene origen fecal, su nombre más riguroso sería coliformes termotolerantes. En cualquier caso, la presencia de termotolerantes se usa como indicador de contaminación fecal ya que el 95% de ellos son *Escherichia coli*.

Dos técnicas se usan comúnmente para detectar la presencia de coliformes en el agua. El primero de ellos es el llamado "tubo de fermentación múltiple" o técnica de "número más probable". En este método se dosifica la muestra en tubos de ensayo que contienen un medio de cultivo. Los tubos se incubaron a continuación durante un tiempo estándar a una temperatura estándar. En la segunda técnica, un volumen medido de la muestra se hace pasar a través de un filtro fino que retiene bacterias. El filtro se coloca entonces en medio de cultivo y se incuba. Esto se conoce como la técnica de "filtro de membrana" Características de las dos técnicas se comparan en la (Organización Mundial de la Salud, 1996).

Tabla 6. Características de las 2 técnicas más usadas en el análisis de coliformes termotolerantes o totales. Fuente: Elaboración propia a partir de (Organización Mundial de la Salud, 1996).

TÉCNICA DE FERMENTACIÓN EN MÚLTIPLES TUBO	FILTRACIÓN DE MEMBRANA
Más lenta: 48 horas	Más rápida: 18 horas
Más tiempo intensivo	Menos tiempo intensivo
Requiere más medio	Requiere menos medio
Más sensible	Menos sensible
Resultados son una aproximación estadística (baja precisión)	Resultados obtenidos directamente por conteo de colonias (alta precisión)
No está adaptado a usarse en campo	Adaptado a campo
Aplicable a todos los tipos de agua	No aplicable a aguas turbias
Consumibles son más accesibles en muchos países	El coste de los consumibles es caro en muchos países
Mejor recuperación del estrés o daño en el análisis de las bacterias	Las bacterias sufren estrés fisiológico debido a la filtración a vacío

TÉCNICA DE FILTRACIÓN DE MEMBRANA: KITS PORTÁTILES

En Desarrollo o Ayuda humanitaria la técnica más empleada es la *filtración de membrana* ya que es principalmente más fácil y aplicable en campo. Kits de campo portátiles son útiles para las pruebas de campo de las muestras en un monitoreo de la calidad del agua de los parámetros

básicos. Los más usados son de la marca Wagtech (Figura 8) y Delaguakit de Intermon Oxfam. Estos kits contienen principalmente:

- Un medidor de cloro residual (comparador) y reactivos para medir el cloro (DPD)
- un turbidímetro plegable
- pHmetro y termómetro
- filtro y pera para hacer vacío
- incubadora, placas para calibrar incubadora y pinzas para conectar a la batería del coche;
- recipientes para hacer medio de cultivo y medio de cultivo
- placas Petri
- almohadillas
- membranas
- lupa para el conteo de colonias
- Otros accesorios



Figura 8. Kit portátil para análisis de agua (marca Wagtech).

En contrapartida, como desventajas de este tipo de técnicas se encuentra por ejemplo:

- No permite saber si existe otro tipo de microorganismos, ya que aguas en ausencia de indicadores fecales pueden contener virus enteros y protozoos
- Es necesario refrigerar en todo momento y controlar la temperatura ya que temperaturas altas contribuyen al crecimiento de coliformes.
- Es necesario disponer de material adecuado para esterilizar el equipo de análisis (medio, botes, placas, membranas etc...)

OTRAS TÉCNICAS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La preocupación y búsqueda de métodos que mejoren los análisis microbiológicos está en auge, Y dirigiendo la mirada hacia otras alternativas. En el año 2008 la organización Dew hizo una encuesta llamada *“Technical Enquiry Practical experiences with field water quality testing kits and*

equipment” (Dew Point, 2008). En ella se exponen los problemas de los kits portátiles Wagtech y DelaguaKit de Intermon Oxfam). Destacan:

- La necesidad de energía
- La facilidad de dar un incorrecto resultado
- El riesgo alto de contaminación
- La necesidad de encontrar localmente: metanol, autoclaves para esterilizar y cajas de refrigeración.

Se comentan otras alternativas como pueden ser el test H_2S . En el año 2002, se realizó una evaluación del test H_2S (World Health Organization, 2002) con pruebas a favor y en contra. El fundamento del método, aunque con muchas modificaciones se ha ido desarrollando sobre todo por alteración del medio. Se basa en la detección de la producción de H_2S de las bacterias que las bacterias enteras producen, se forma un precipitado negro con la reacción del H_2S y el hierro del medio. Ya que la actividad de estos microorganismos es reducir el sulfuro orgánico a sulfito como el H_2S , reaccionando rápidamente con el hierro para formar un precipitado de sulfuro de hierro. Muchos tipos de bacterias puede producir H_2S desde proteínas, aminoácidos y otras fuentes, por tanto no es un método específico de contaminación fecal lo que conlleva a que pueda ocurrir falsos positivos. Este método ha sido usado y extendido en todo el mundo como indicador de contaminación fecal, pero no está estandarizado, aunque es más simple, más barato y más fácil de aplicar que otros.

Existen otras alternativas adicionales: *Water Safety Kit* (que utiliza un panel solar), *Aquatest project* de la Universidad de la Universidad de Bristol, pero ninguno de ellos todavía está consolidado y estandarizado, sino más bien están en fase de prototipo o monitoreo.

En conclusión, la técnica de *filtración de membrana* y los kits portátiles muestran muchos problemas o inconvenientes, pero hasta la fecha, son los únicos aceptados y estandarizados. Existe una fuerte línea de investigación en la búsqueda de otras técnicas y/ o mejora de la misma.

La Organización Mundial de la Salud, en un informe que marca las bases de la Estrategias en calidad de agua y salud del 2013-2020 (World Health Organization, 2012), ante el objetivo de conseguir el máximo rigor de evidencia en la calidad del agua, publicará a lo largo del año 2014 un informe sobre los distintos métodos de análisis microbiológica, los riesgos inherentes a ellos y sus conclusiones.

4. FASES Y MÉTODO

La evaluación de la parte técnica del Proyecto fue realizada por el equipo del Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento de la Universidad Politécnica de Madrid (GCSASD), con especial dedicación de los expertos José Antonio Mancebo y Juan Manuel Orquín, autores del artículo (Orquín & Mancebo, 2013) como resultado de las publicaciones de las Jornadas Internacionales de Bombas Manuales y de Ariete (Programación en ANEXO V) celebradas en Noviembre del 2013. Cabe resaltar que en el citado Congreso han participado Edilson Ramos de CONDRI y Carla Guldani de IABS. En la calidad del agua se debe mencionar, como participante activa a la Dr^a María Teresa Hernández Antolín.

Se enumeran las fases empleadas en las actividades que se ha realizado correspondientes a Evaluación del proyecto, detallando en los siguientes apartados las estrategias de la parte constructiva, como de la de calidad del agua. Ver cronograma en Tabla 7.

1. Antecedentes: El equipo UPM identificó la problemática de la calidad del agua en las cisternas a partir de los resultados de la línea de base. Existían enfermedades hídricas, escasos mecanismos de prevención de contaminación del agua, escuelas que no realizaban ningún tratamiento y además se desconocía la procedencia del agua que abastecía gran parte de las escuelas del proyecto (principalmente por *carro pipa*). De este modo, se planeó realizar un estudio sobre la calidad del agua de las cisternas que incluye aspectos desde su origen hasta su punto de utilización, a lo que llamamos “el camino del agua”. Por conveniencia, también se decidió recoger información técnica de las cisternas.

2. Estancia en terreno: Durante 6 meses con María Pérez, compañera del equipo y encargada de recoger las percepciones de los actores involucrados en las escuelas en Santana de Ipanema (Alagoas). Consistió en:

- Toma de contacto: Se realizaron un total de 57 visitas en todas aquellas escuelas que pertenecían a un municipio en el que tenían una cisterna construida o al menos una cisterna en construcción: *Canapi, São José da tapera, Olho Dágua das Flores, Carneiros, Major Isidoro, Senador Rui de Palmeira y Palestina*.
- Reuniones periódicas con CONDRI y el equipo UPM, sobre el grado de avance del proyecto y planificación de las actividades en terreno.
- Recogidas de muestras de agua semanalmente principalmente en las cisternas escolares, aunque también en algunas cisternas comunitarias y domiciliarias. También se analizó el agua en el punto de consumo directo con objeto de detectar posible contaminación posterior a la cisterna.
- Análisis de 206 muestras de agua en el mini-laboratorio de campo (PH, temperatura, turbidez, cloro residual, conductividad eléctrica y presencia de coliformes fecales) y: tratamiento de datos.

- Recogida de información relativa a la parte constructiva (incidencias, estado de la bomba Carcará II y causas de retraso).

3. Análisis estadístico y tratamiento de datos: Fue realizado durante la estancia en terreno pero fundamentalmente en los últimos meses cuando ya se tenía todos los datos necesarios.

4. Redacción de informes: Exceptuando un breve informe en el mes de noviembre, se realizaron en los últimos meses desde Madrid.

Tabla 7. Cronograma de las Fases de las prácticas profesionales y la realización del Trabajo Fin de Máster.

FASES	Feb 2013-Sep 2013	Sep 2013-Marzo 2014	Marzo 2014- Junio 2014
Antecedentes			
Estancia en terreno			
Análisis y tratamiento de los datos			
Redacción de informes y TFM			

SELECCIÓN DE MUESTRA

La Evaluación fue diseñada bajo el escenario en el cual 72 cisternas estaban construidas (70% de la muestra), sin embargo cuando comenzó la evaluación solo existían 6 cisternas y a fecha final (14 de Marzo del 2014), solo había 19 cisternas terminadas, que no finalizadas (ver apartado 2.2. Grado de avance del proyecto “Agua para educar”. Ello también conllevó a seleccionar la muestra de estudio por las circunstancias y no como consecuencia de un diseño estratificado a las variables de interés.

Se muestra en la Tabla 8 el resumen de la muestra de estudio, que es un censo de todas las cisternas construidas (19), además de 3 escuelas beneficiarias pero sin cisterna todavía y 2 cisternas de primera agua –uso domiciliario y de 16 m³-. Se puede ver en ANEXO II tablas desglosadas y detalladas sobre el muestreo.

Tabla 8. Resumen del número de muestras analizadas en mini laboratorio y de visitas técnicas.

MUESTRA DE ESTUDIO	UNIDADES	MUESTRAS ANALIZADAS EN MINI LABORATORIO				VISITAS TÉCNICA
		TOTAL	CISTERNA O RESERVATORIO	EN VASO	CISTERNA COMUNITARIA	
Comunidades escolares beneficiarias y CON cisterna CONDRI	19	175	97	60	18	81
Comunidades escolares beneficiarias y SIN cisterna CONDRI	3	22	11	11	-	-
Casas particulares con cisternas de otros proyectos	2	9	9	-	-	-
SUMA	24	206	117	71	18	81

4.1. METODOLOGÍA PARTE CONSTRUCTIVA

1. Revisión de los documentos técnicos del Proyecto.

En concreto, se revisó el documento “*Projeto básico água para educar em Comunidades escolares da Região do Ipanema-Alagoas-Brasil*” proporcionado por CONDRI, al cual se hizo referencia en el Capítulo 2.1. (Proyecto “água para educar” en comunidades escolares de la región de Ipanema en alagoas, brasil.) En él; se establecen las bases del Proyecto; metas y actividades para su consecución; especificaciones técnicas y presupuesto del Proyecto. El objetivo es comprobar si se cumplen las especificaciones de aquellos aspectos relacionados con la construcción de los Sistemas, así como estudiar su idoneidad.

2. Recogida de información en terreno:

- Observación técnica y participativa para la descripción del proceso constructivo y de la tipología del Sistema de captación de agua de lluvia (incluyendo canalizaciones, soportes, bomba Carcará II y otros elementos) en viajes del equipo.
- Observación sistemática y participativa mediante formulario de campo de Incidencias o problemas observados en los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia durante el período de monitoreo (ANEXO IV).
- Prueba hidráulica a carga máxima: Consiste en llenar la cisterna hasta su capacidad máxima (52 m³) y medir en 24 horas un posible descenso en el nivel del agua provocado por fugas. Se efectuó el día 24 y 25 de octubre del 2013
- Grupo focal con los *pedreiros*: En el mes de febrero del 2014, se decidió incorporar esta técnica a la metodología para poder identificar y dar respuesta a las causas relacionadas con los retrasos y las incidencias detectadas en los Sistemas de recogida de agua, bajo el punto de vista de los *pedreiros*. El grupo focal fue formado por 4 *pedreiros* y 2 jefes *pedreiros*, (correspondientes a dos equipos diferentes), moderado por Andrea Ventura, apoyado por materiales gráficos y estructurado según guion (ver Anexo II).

3. Análisis estructurales y recomendaciones

- Cálculos estructurales de la cisterna detallados en el artículo de Juan Manuel y José Antonio (Orquín & Macebo, 2013).
- Estudio del funcionamiento de la bomba. Debe ser destacado el Proyecto Fin de Carrera de Christian Polo (Polo Castaño, 2014) centrado en la caracterización y construcción de la bomba Carcará II, además de hacer una comparativa con otras bombas manuales.
- Mejoras técnicas y recomendaciones, algunas dadas de forma inmediata, en debate y en discusión con el ejecutor CONDRI con objeto de establecer sinergias entre los colaboradores y mejorar los Sistemas de captación de agua de lluvia que aún no fueron construidos.

4. Redacción de informes.

- Breves reseñas de los viajes realizados por José Antonio Mancebo Piqueras (Mancebo Piqueras, 2013)

- Redacción de la parte técnica de los informes intermedio y final acordados en la Evaluación, en los que se incluyen resultados de la evaluación, conclusiones y recomendaciones.

4.2. METODOLOGÍA CALIDAD DEL AGUA

La Figura 9 esquematiza la metodología empleada en el estudio de la calidad del agua para la consecución de los objetivos propuestos.

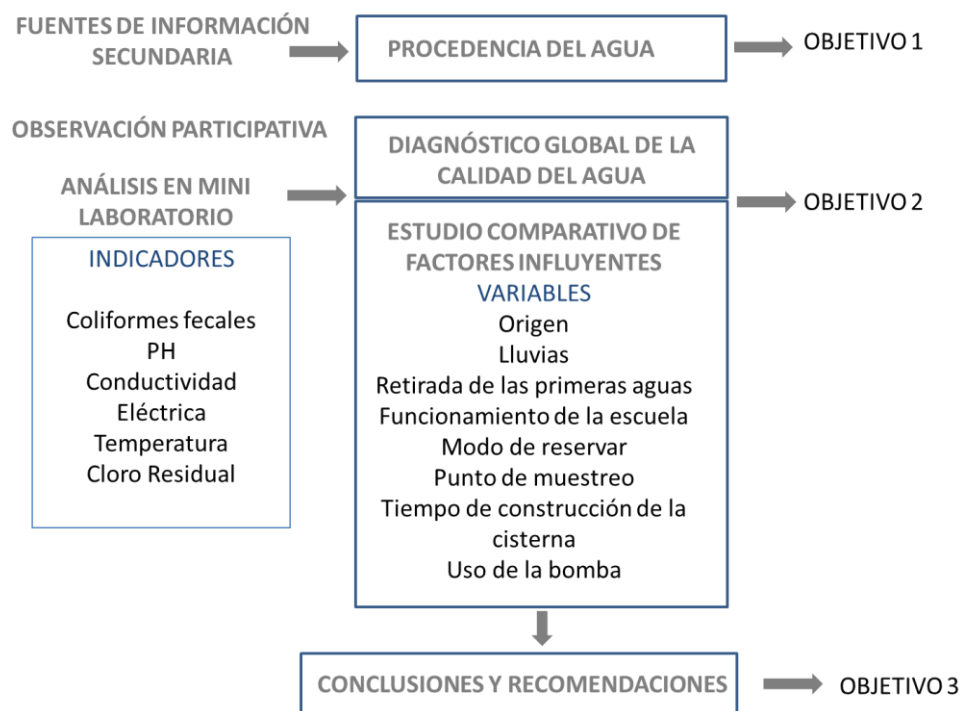


Figura 9. Esquema secuencial de la Metodología de calidad del agua para la consecución de los objetivos propuestos.
Fuente: Elaboración propia.

- **OBJETIVO 1:** Estudio de las posibles fuentes de contaminación del agua de las cisternas.

Se realizaron entrevistas informales con el gerente de la CASAL en Santana de Ipanema, funcionarios de las *Secretarias de Educação* (Canapí, Carneiros y Major Isidoro) y *Secretaria de Saúde* en Major Isidoro. Revisión de fuentes secundarias (periódicos y páginas webs informativas) y observación participativa con la comunidad escolar, todo ello, para la identificación de la procedencia del agua de las cisternas y del tratamiento empleado.

- **OBJETIVO 2:** Un diagnóstico de la calidad del agua de las cisternas escuelas global y estudio comparativo de variables que influyen en ella.

Se realizaron 206 análisis *in situ* y en mini laboratorio de los indicadores de la calidad del agua, además de la identificación de cada análisis por observación participativa vía formulario de campo

(ver anexo IV). Consulta bibliográfica para el estudio de los factores que afectan significativamente la calidad del agua en Sistemas de recogida de agua de lluvia, especialmente en el SAB (Capítulo 3 del Estado del Arte)

- **OBJETIVO 3:** Recomendaciones o propuesta para el control de la calidad del agua en las cisternas escolares.

Análisis de los resultados y búsqueda de soluciones o mejoras en las debilidades identificadas en documentación y con el apoyo del GCSASD de la UPM.

RECOGIDA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Las 206 muestras analizadas pertenecen a dos puntos diferentes de muestreo, una en las cisternas, recogida del mismo modo que en la escuela, es decir, con bomba Carcará II si o si usan balde y cuerda para la retirada, entonces se recolectaba con un vaso tomador de muestras a aproximadamente 5 cm de la superficie. Entre muestra y muestra de distinta procedencia se debe desinfectar el toma muestras para evitar posible contaminación entre muestra y muestra. Muestras con valores muy altos de cloro (1 mg/l) no se realizó en análisis microbiológico, ya que no pueden existir microorganismos a estos niveles de cloro.

VARIABLES DEL ESTUDIO

1. Origen: Se comparan por procedencia del agua de la muestra, de todas las escuelas y de las casas de primera agua. El origen es muy variado, puede ser agua canalizada, de carro pipa, de la lluvia o del Manantial de Canapí, además de algunas de sus mezclas.
2. Lluvias: Comparación en la línea del tiempo (datos por cada día de análisis), que a su vez se puede relacionar con las lluvias de todas las mediciones. También se hizo una comparación con el tiempo transcurrido desde cada lluvia hasta que se hizo el análisis. Para esta variable se emplearon todas aquellas muestras que procedían de escuelas o casas que tenían la capacidad de recolectar y almacenar agua de lluvia. Es decir, las escuelas CONDRI y las dos cisternas de primera agua.
3. Retirada de las primeras aguas: Se comparó aquellas escuelas donde se desviaba las primeras aguas, con aquellas que no lo hacía. En este estudio solo se empleó los datos de las cisternas CONDRI y las dos casas de primera agua, es decir, se excluyeron las escuelas donde aún no se construyeron cisternas de recogida de agua.
4. Funcionamiento de la escuela: Comparación en todas las escuelas del periodo de funcionamiento normal con el periodo de vacaciones donde la escuela estaba cerrada o abierta pero sin clases.

5. Modo de reservar o almacenar: Se compara el modo de almacenamiento, según sea cisterna CONDRI, de la comunidad, de primera agua, antigua o un reservatorio de plástico.
6. Punto de muestreo: Intenta comparar la calidad del agua desde su almacenamiento hasta su consumo, que puede ser contaminado por el camino y/o mejorado por el tratamiento. Comparación desde punto de almacenamiento a punto de consumo.
7. Tiempo de construcción de la cisternas CONDRI: Se compara la edad y el lavado de las cisternas. Las escuelas CONDRI tienen 4 de ellas 1 año y las demás se hicieron durante los últimos meses.
8. Uso de la bomba. Comparación de las muestras retirando el agua en cisternas con bomba o con cuerda y balde.

MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

En contextos de desarrollo, donde los laboratorios no existen, están muy lejos o son inasequibles, se recomienda, por lo menos, medir los parámetros básicos de la calidad del agua, ya que los recursos e instalaciones que implican son menores que los laboratorios convencionales.

Los parámetros básicos de la calidad del agua según la Organización Mundial de la Salud, y la mayoría de las organizaciones o Instituciones relacionadas con la salud son: coliformes termotolerantes, cloro residual, pH y turbiedad. Nosotros hemos añadido la conductividad eléctrica y la temperatura en los indicadores de calidad. Para la medición de los parámetros citados anteriormente se ha seguido como base el *Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida* de la Organización Panamericana de la Salud, perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (Organización Panamericana de la Salud, 2004), la *Guía de la calidad del agua potable* también de la Organización Mundial de la Salud. (World Health Organization, 2011) y el libro *“Water, sanitation and hygienen for population at risk”* (Acción contra el hambre, 2005). Además de las instrucciones de los equipos empleados, para más detalle.

Algunas de estas propiedades se deben medir en campo, *in situ*, de modo que se evita alteraciones de la muestra, como son el PH, conductividad eléctrica, la turbidez y el cloro residual Figura 10- (a). Otras requieren de más tiempo y necesitan red eléctrica, se hace entonces en mini-laboratorio, este es el caso de los coliformes fecales Figura 10- (b).



Figura 10. Medición de: (a) –parámetros físico-químicos *in-situ* y (b)- coliformes fecales en mini laboratorio.

Se comenta a continuación, la técnica utilizada para la medición de los indicadores de este estudio, así como su interpretación y valores de aceptabilidad.

pH

Los valores de pH miden la intensidad de la acidez y la alcalinidad del agua. La escala del pH de las aguas naturales está entre 6,0 y 8,5. Si un agua tiene un PH 7, está en el punto medio de la escala y se dice que tiene un pH neutro. Valores más altos o más bajos son básicos o ácidos respectivamente.

Aunque generalmente el valor del pH no causa efectos adversos para la salud y en consecuencia la Organización Mundial de la Salud no ha propuesto guías para la salud, el pH es uno de los parámetros más importantes por su gran influencia con otros indicadores. De este modo el valor del pH tiene importancia vital para tratamientos como la cloración (valores mayores de 8 no son permitido para la cloración), coagulación, ablandamiento y el control de la corrosión de las tuberías.

Utilizaremos el rango **entre 6 y 9,5**, y un máximo de 8 cuando se vaya hacer cloración, en coherencia con la legislación de Brasil.

Se utilizó la técnica electrométrica, que consiste en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medio de un potenciómetro, el cual tiene un electrodo de vidrio selectivo de ion hidrogeno cuyo voltaje fluctúa con el pH del agua y un electrodo referencial de calomen que proporciona un voltaje estable y constante. Este electrodo se compara con el voltaje de vidrio selectivo. El equipo utilizado se muestra en la Figura 11 (a) que es un medidor multiparámetro permitiendo medir además la conductividad eléctrica y la temperatura. El HI 982129 de la marca comercian Hanna Instruments, tiene compensación automática de temperatura, es impermeable, flota y con carcasa totalmente estanca para que no entre humedad. En definitiva, es un medidor robusto y adecuado para hacer análisis en campo.



Figura 11. Equipos para la medición de parámetros físico-químicos: (a)- Medidor de PH, conductividad eléctrica y temperatura (Hanna instruments HI 98129) y (b)- Comparador visual para medir el cloro residual (Waghtech WAG-WE10195).

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Buena parte de la materia disuelta en el agua está cargada eléctricamente, con iones dependientes de las concentraciones en el pH y EH (potencial redox) del agua, la composición y concentración de los diferentes iones cargados negativamente o con carga positiva, y que puede reaccionar para formar sólidos inertes.

La conductividad es la medida de la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica y está afectada por la presencia de sólidos disueltos iónicos en disolución. Los sólidos disueltos dependen principalmente de la solubilidad de los minerales de roca y suelo en contacto con aguas (Dentro de pH normal y rangos de EH). Por ejemplo, el agua que fluye a través de las piedras calizas o yeso contiene calcio, carbonato y sulfato disueltos en ella. Por tanto, nos puede ayudar a indicar la procedencia del agua (Figura 12).

Cambios en los valores de la conductividad nos pueden indicar también contaminación. Por ejemplo, la contaminación de alcantarillados en el suministro de agua puede aumentar la conductividad debido a la presencia de cloruro, fosfato, y nitrato. El uso intensivo de fertilizantes tendrá consecuencias similares. Diferencias de conductividad, como las variaciones de temperatura, pueden indicar zonas de contaminación, mezcla o infiltración (Acción contra el hambre, 2005).

Conductividad de agua superficial es normalmente inferior a $1.500 \mu\text{S}/\text{cm}$. En la práctica, problemas de aceptación de los consumidores aparecen por encima de **$1.400 \text{ mS}/\text{cm}$** , pero este factor depende mucho de los hábitos de la población.

χ ($\mu\text{S/cm}$)	Type of water	
0.005	Demineralised water	
$10 < \chi < 80$	Rainwater	Normally no acceptance problems for human consumption in this range
$30 < \chi < 100$	Slightly mineralised water, granitic context	
$300 < \chi < 500$	Fairly well-mineralised water, carbonated context	
$500 < \chi < 1\,000$	Mineralised water	
$1\,000 < \chi < 1\,500$	Highly mineralised water	
$1\,500 < \chi < 3\,000$	Brackish water	
$\chi > 20\,000$	Seawater	

Figura 12. Clasificación del agua acorde con su conductividad. Fuente: (Acción contra el hambre, 2005).

CLORO RESIDUAL

Resulta pertinente medir el cloro residual ya que en Alagoas, el tratamiento del agua se realiza únicamente por cloración. El contenido del CRL nos dice si se ha tratado adecuadamente.

Si introducimos en el agua a tratar dosis crecientes de cloro y medimos la evolución del cloro residual total (cloro libre + cloro combinado) observaremos que pasa por varias fases (ver Figura 13)

- En una primera fase el cloro desaparece por su reacción con la materia orgánica existente en el agua. No existe desinfección ya que el cloro residual total (CRT) es 0.
- Posteriormente, al ir añadiendo más cloro, éste se combina con la materia orgánica formando cloraminas y otros.
- El incremento de cloro elimina las cloraminas y otros compuestos orgánicos. Se observa que a pesar de ir aumentando la dosis de cloro disminuye la medida de cloro residual combinado.
- Por último, el nuevo incremento de la dosis de cloro añadido comienza (Punto crítico) a elevar gradualmente los valores de cloro residual libre (CRL), hasta mantener una concentración estable de CRC resultante de los compuestos no eliminados por el CRL.

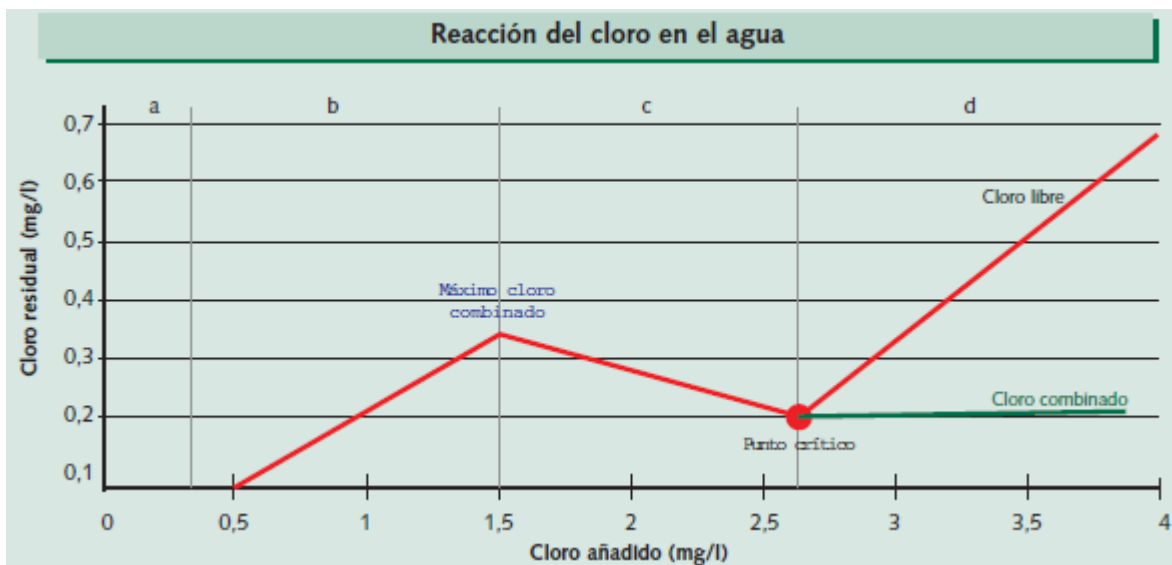
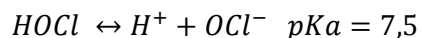


Figura 13. Evolución del cloro residual en el agua según la adición del cloro. Fuente: (Instituto de Sanidad Pública. Consejería de Sanidad y Consumo. Comunidad de Madrid, 2004)

Para realizar una buena desinfección habrá que eliminar la materia orgánica presente en el agua superando el punto crítico. La concentración idónea de cloro a añadir al agua a tratar para obtener un CRL suficiente va a depender del contenido en materia orgánica del agua en origen. La efectividad del cloro también se ve afectada por el pH del agua. La cloración no es efectiva si el pH es mayor de 7,2 o menor de 6,8 (Organización Panamericana de la Salud, 2009).

Ello es debido a que a valores de pH mayores de 7,5 el equilibrio de la siguiente reacción se desplaza a la derecha, aumentando el ion hipoclorito (OCl^-) y disminuyendo el ácido hipoclorito ($HOCl$), que es 80% más desinfectante que el ión hipoclorito.



Para verificar que la desinfección es suficiente cuando el agua es tratada con cloro o derivados se deberá comprobar que **existe al menos 0,2 mg/l de CR (a pH menor de 8)**. Existen varias formas de añadir cloro, pero los que más se utilizan son los hipocloritos, hipoclorito de calcio o sódico, en el caso de Alagoas.

La medición del CR se realizó con el comparador visual de Wagtech WAG-WE10195, Figura 11 (b). El comparador está formado por una caja que contiene un disco y dos celdas transparentes, en las cuales se introduce la muestra de agua. En una de ellas, se introduce una solución armotiguadora DPD (N,N-dietil-para-fenilendiamina). El cloro oxida al DPD y se torna de un color rosado dependiendo de la concentración del CRL. Esta coloración se comparará con el disco y se busca la coloración semejante a la de la muestra, cuya lectura nos da el CRL. La otra celda simplemente se utiliza para sobreponerla al disco y eliminar cualquier interferencia de color inherente a la propia muestra.

TURBIDEZ

La turbidez del agua se debe a las partículas en suspensión o materia coloidal que obstruyen el paso de la luz a través del agua. El agua con alta turbidez hace que los microorganismos se adsorban a las partículas en suspensión, aumentando la resistencia de los mismos. Altos valores de turbidez, esto es mayor de **5 NTU** (unidad nefelométrica de turbidez) necesitan más cloración, ya que los patógenos están más protegidos de la oxidación.

La turbidez se puede medir en un tubo, llamado turbidímetro (ver Figura 14). El funcionamiento es muy sencillo: El tubo se llena de agua y se observa si se puede ver desde la superficie la marca de referencia (una cruz en nuestro caso) en la parte inferior del tubo. En este caso, quiere decir que el agua tiene turbidez menor o igual a 5 NTU. Por el contrario, si no se puede ver la marca de referencia debido a la turbidez del agua, vertemos el agua poco a poco hasta que consigamos ver la marca de referencia, momento en el que se toma la lectura indicada en el lateral del tubo en función de la altura del agua.



Figura 14. Turbidímetros del laboratorio de hidráulica aplicada al desarrollo de la Universidad Politécnica de Madrid.

TEMPERATURA

La temperatura no tiene un rango de aceptabilidad fijo y definido, pero en general el agua fría es más aceptable que el agua caliente, y tiene un impacto sobre la aceptabilidad de una serie de compuestos inorgánicos y otros productos químicos que puede cambiar su aceptabilidad en función de la temperatura.

Alta temperatura del agua mejora el crecimiento de microorganismos y puede aumentar los problemas relacionados con el sabor, el olor, el color y la corrosión.

COLIFORMES FECALES

El grupo de bacterias coliformes está conformado por dos subgrupos: los coliformes totales y los fecales o termotolerantes por resistir temperaturas termófilas (44,5°C). En el grupo de los coliformes fecales está incluida la *Escherichia coli* (*E-coli*), considerada como el indicador de contaminación fecal. Se ha demostrado que esta bacteria siempre está en un número elevado en las heces humanas y animales de sangre caliente y comprende casi el 95% de los coliformes en las heces. Por esta razón, la contaminación fecal puede ser evaluada por análisis de coliformes fecales o de E-coli, ambas alternativas se consideran aceptadas.

El análisis en este caso, se realizó por el **método de filtración de membrana** y desarrollo de colonias de bacterias en un medio favorable, aceptado y homologado dentro de los “*Standars Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (American Water Works Association, 2000), además, aunque tiene ciertas debilidades, hasta la fecha es el más utilizado en campo. El fundamento del análisis consiste en:

- Preparación del medio de cultivo: Mezclando 24 ml de agua destilada (o en su defecto agua hervida) y 10 cucharadas tamaño del recipiente dispuesto para este cometido de membrana de agar lauril sulfato (laboratorios CONDA), que es 1,82 g. La Proporción que recomiendan los manuales de Wagtech e Intermon Oxfam es 38,1g en 500 ml de agua destilada (Densidad 7.62 mg/ml) Por lo que para 24 ml, se necesitan 1.82 g. Se deja enfriar durante 1 hora aproximadamente. Base de cálculo para 10 muestras.
- Filtración: Filtrar un volumen conocido (100 ml en el caso) a vacío (conseguido con jeringuilla por ejemplo), a través de una membrana porosa cuyo diámetro de poro está diseñado para retener las bacterias (0,45 µm). La membrana (superficie de celulosa donde quedan retenida las bacterias) se coloca en una placa Petri impregnada con el medio de cultivo en una almohadilla.
- Incubación: Después de 1-4 horas de tiempo de resucitación de las bacterias, se introducen las placas Petri en la incubadora a 44,5 °C durante 18-19 horas (en el caso del medio de cultivo empleado) durante 18 o 19 horas. La incubadora utilizada fue construida en el laboratorio de hidráulica aplicada al Desarrollo del GCSASD.
- Interpretación de resultados Si existe coliformes fecales fermentarán la lactosa (compuesto del medio de cultivo) con producción de ácidos según se muestra en la Figura 15 y tornando el medio a pH 4,4 (Koneman, 2009)

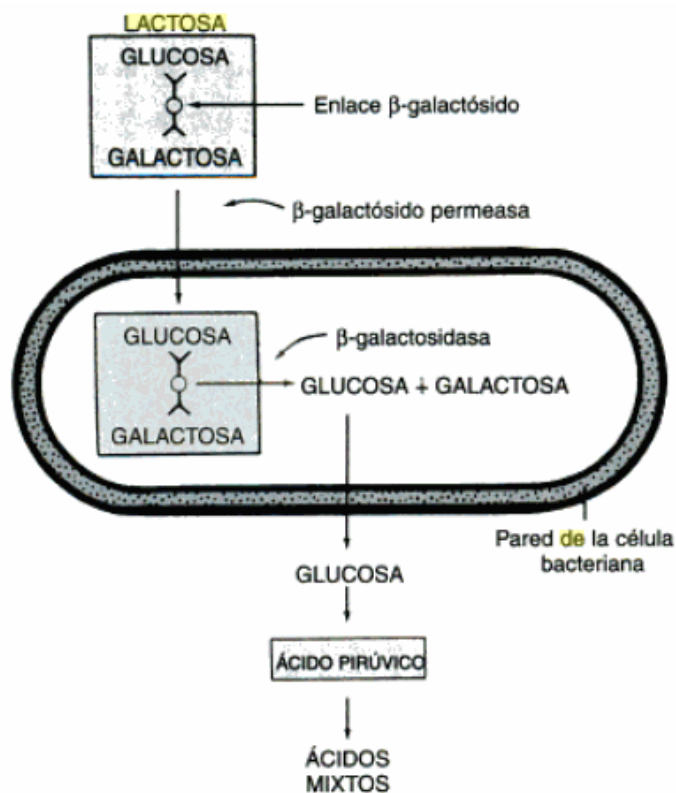


Figura 15. Fermentación bacteriana de la lactosa: la lactosa, disacárido compuesto por moléculas de glucosa y galactosa unidas por un enlace B-galactósido se difunde a través de la pared de la célula bacteriana bajo la acción de la b-galactosidasa permeasa. Si la bacteria produce B-galactosidasa, la lactosa es hidrolizada para producir glucosa y galactosa. La glucosa es luego metabolizada vía Embden-Meyerhof. Fuente: Diagnóstico microbiológico (Koneman, 2009)

El medio de cultivo tiene además un indicador de pH, rojo fenol, que a valores de pH menores de 6,8 se vuelve amarillo, y por tanto, la identificación y diagnóstico de las bacterias es determinado por la aparición de colonias amarillas al bajar el pH a 4,4 (ver Figura 16). Para que el agua sea potable debe haber ausencia de coliformes fecales.

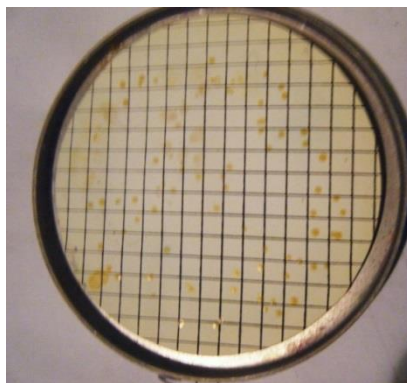


Figura 16. Foto de Colonias de coliformes fecales en placa por la técnica de filtración de membrana de aguas de la cisterna de Riachão dos Alexandres. Número de colonias aproximadamente 50.

Aunque las mediciones de los parámetros básicos son menos exhaustivas que las realizadas en un laboratorio homologado y de mayor escala, se deben realizar tantas buenas prácticas de laboratorio como el contexto lo permita, sobre todo en las referidas al control de la asepsia del análisis microbiológico, que determina la calidad del análisis. Algunos aspectos a tener muy en cuenta en el análisis microbiológico se citan a continuación:

- Las muestras para análisis bacteriológicos deben tomarse y conservarse en recipiente estériles.
- Mantener las muestras en caja fría (4 ° C).
- Entre la toma de muestras y el análisis no deben pasar más de 6 horas.
- Entre la filtración y la incubación debe haber un periodo de resucitación de bacterias para que las bacterias se recuperen del estrés fisiológico de la filtración (entre 1 y 4 horas). Si existe la sospecha de que alguna tiene cloro, el tiempo de resucitación debe estar más de una hora. Y en este caso, se aconseja realizar el análisis de estas muestras antes que las demás, así el tiempo de resucitación finalmente será mayor.
- Se deben desinfectar los equipos entre muestra y muestra de distinta procedencia, uso de metanol o autoclaves.
- Realizar una muestra en blanco al principio para asegurar que el equipo no está contaminado.
- Calibrar la temperatura de la incubadora antes del análisis.
- El laboratorio no debe ser muy grande y usado exclusivamente para el análisis.
- Anotar en los frascos y en el cuaderno una identificación única de la muestra (lugar, fecha y hora).
- Otras referidas a las condiciones higiénicas del analista: lavarse las manos con jabón, no comer ni beber en el laboratorio y usar guantes.

El equipo utilizado fue el kit portátil Wagtech Figura 8, excepto la incubadora que fue autoconstruida en el laboratorio de hidráulica aplicada al Desarrollo.

4.3. TRATAMIENTO DE DATOS

Las técnicas de tratamiento de datos empleadas fueron fundamentalmente el análisis documental y estadístico. Además de un análisis de contenido cualitativo, para tratar los datos de las entrevistas con la CASAL, las Secretarías de Salud y el grupo focal realizado a los *pedreiros*.

El análisis documental se refiere al monitoreo de las visitas técnicas (descripción de la infraestructura e incidencias detectadas), y también dentro del bloque calidad del agua, a la documentación sobre el origen del agua de las cisternas, su potencialidad a ser contaminadas, los mecanismos de prevención y tratamiento empleados.

El tratamiento de datos estadístico se utilizó para: el estudio comparativo de variables influyentes en la calidad del agua: estimación de la probabilidad de que las cisternas se llenen de agua; y para mediciones del Sistema de Recogida (tipología de los soportes, funcionamiento y uso de la bomba, etc.). Se utilizó el procesador de datos Excel, uso de tablas dinámicas, gráficos y herramientas estadísticas para el cálculo de medias, frecuencias, porcentajes e incertidumbres.

5. RESULTADOS

En primer lugar, se comentan los resultados de la parte constructiva y a continuación, los de calidad del agua.

5.1. RESULTADOS PARTE CONSTRUCTIVA.

Se muestra la Tabla 9 todos los problemas o incidencias encontrados en las 19 escuelas donde se construyeron las 19 cisternas. A continuación, se realiza un análisis documental dividido según el siguiente esquema práctico: Cisternas, bomba Carcará II, soportado de las canalizaciones y otros elementos.

Tabla 9. Lista de problemas o incidencias observadas en los Sistemas de Recogida de agua por escuela, con algunas fotos ilustrativas.

COMUNIDAD ESCOLAR	PROBLEMAS O INCIDENCIAS ENCONTRADAS EN LAS CISTERNAS, SOPORTADO, CANALIZACIONES Y BOMBAS:	REPARACIÓN / COLECTIVO
Sítio Cajarama	Desprendimiento del hormigón entre la bomba y la cisterna.	Sí / CONDRI
	Fisura en la unión entre la pared lateral-cubierta de la cisterna (Foto 1).	No procede
	Colocación inversa del plástico del tejado, color negro en el interior, la clase está muy oscura.	No
Sítio Richão dos Alexandres	Sin hacer los orificios en la cisterna para poder instalar la bomba.	Sí /CONDRI
	Fijación de la tubería de modo que no se puede retirar las primeras aguas.	Sí/CONDRI
	Incorrecta recogida del agua, pérdidas en las canalizaciones.	No
	Se soltaron los tubos en la unión del codo de la bomba (Foto 2).	No
Sítio Lagoa dos Cágados	No hay apoyo del muro entre la cisterna-escuela (peculiaridad específica de esta escuela) por asentamiento de la tierra después de las lluvias (Foto 3).	No
	Caída del tubo inferior de la bomba.	Sí/CONDRI
	Desaparición del tubo superior de la bomba (Foto 4)	No
Sítio Bezerra	Desaparición T final de la bomba	Sí/CONDRI
Povoado Pedrão	Rotura del suelo de la cisterna durante la prueba hidráulica (Foto 5).	Sí/CONDRI
	Caída del soporte de la tubería vertical (Foto 6).	No

	Pendiente positiva en el rebosadero.	No
Sítio Gato	Pérdida de agua en la cisterna (a media altura).	Si/CONDRI
	Sin hacer orificios de rebosadero.	No
	Canalizaciones conectadas a la parte del tejado sin reforma.	Si/CONDRI
	Caída del codo de la bomba.	Si/CONDRI
	Caída del codo de la bomba de nuevo	No
Povoado Salgadinho	Sin hacer orificios de rebosadero, provocando la salida del agua por el orificio de conexión a tubería (Foto 7)	No
	Faltan algunas placas de la cubierta de la cisterna (Foto 8)	No procede
	Caída del tubo de la bomba (Foto 9)	
Alto do Couro	No funciona la bomba (probablemente por problemas en válvulas)	No
Malhadinha	Rotura de dos placas de la cubierta durante la construcción (Foto 10).	Si/CONDRI
	Sin recolocación de tierra durante 4 meses después de la construcción.	No
Poço Salgado	No funciona la bomba, pierde agua (Fotos 11-a y b).	No
	Rotura del codo de unión conexiones horizontales-verticales (Foto 12).	No
Logrador	Nidos de pardales en el tejado (Foto 13).	No
	Colocación de la tubería hasta casi el fondo de la cisterna, pudiendo remover el fango del fondo (Foto 14).	No
Baixa Grande	Caída de los soportes de la tubería horizontal. (Foto 15)	No
	Rotura del codo de la tubería. (Foto 16)	Si/CONDRI
	No funciona la bomba.	No
	No tiene rebosadero	Si/CONDRI
Bananeira	Recogida incorrecta del agua, se moja la pared (Foto 17).	No
Sítio Lagoa da Cobra	Rotura de varias viguetas durante la construcción (Foto 18)	Si/CONDRI
	Bomba no funciona (probablemente por problemas en válvulas).	No
	Sin recolocación de tierra durante dos meses después de la construcción (Foto 19).	Si/SECRETARÍA
Lage dos	Cisterna desnivelada (Foto 20).	No

Canges	Introducción de la pintura del tejado a la cisterna por canalizaciones.(Foto 21)	No
Cova do Casado	La cisterna es de dimensiones más pequeñas (falta una hilera de placas laterales (h int=1,69 cm)	No
	Sin recolocación de la tierra después de 3 meses de la construcción	No
	Colocación inversa del plástico del tejado, color negro hacia dentro de modo que la clase está muy oscura (Foto 22)	No
GENERALES	Dimensiones de la trampilla de entrada (baca de hombre) muy pequeñas .	No
	Las trampillas de las cisternas con más de un año están oxidadas (Foto 23).	No
	Las placas identificadoras tienen el número de teléfono incompleto (Foto 24)	No
	Juntas en canalizaciones sin sella (Foto 25).	No



Foto 1-(18/12/2013)



Foto 2-(23/12/2013)



Foto 3 -(23/12/2013)



Foto 4- (13/02/2014)



Foto 5-(25/11/2013)



Foto 6 -(11/02/2014)



Foto 7- (18/02/2014)



Foto 8- (04/02/2014)



Foto 9-(24/02/2014)



Foto 10 -(30/09/2013)



Foto 11_(a)- (10/03/2014)



Foto 11_(b)- (10/03/2014)



Foto 12-(11/03/2014)



Foto 13-(27/01/2014)



Foto 14-(27/01/2014)



Foto 15 -(02/10/2014)



Foto 16 -(17/01/2014)



Foto 17- (15/01/2014)



Foto 18-(30/09/2014)



Foto 19-(04/12/2013)



Foto 20-(20/02/2014)



Foto 21-(24/02/2014)



Foto 22-(18/12/2013)



Foto 23-(07/10/2013)



Foto 24 -(22/10/2013)



Foto 25-(07/10/2014)

CISTERNA

Las primeras visitas técnicas a terreno fueron realizadas en junio y julio del 2013 por parte del equipo UPM, en el que se elaboró un informe, citado anteriormente, del viaje. En él, se comenta el proceso constructivo con algunos esquemas importantes y se hace mención a la falta de vibración en las piezas de hormigón que conforman las cisternas. Durante el período de monitoreo, se ha observado varios problemas con la resistencia de las placas y viguetas de hormigón, como por ejemplo; falta de placas en el interior de la cisterna o rotura de placas y viguetas en la cubierta (Fotos 8, 10 y 18 de Tabla 9). No obstante, es importante señalar, que las

viguetas y placas de la cubierta fueron posteriormente repuestas por los *pedreiros* y la cisterna con falta de placas no ha dado hasta la fecha ningún problema.

La prueba hidráulica realizada el 24 y 25 de octubre en la escuela de Povoado Pedrão conllevó a la rotura del suelo y a la pérdida completa del agua contenida. En la Foto 5 de la Tabla 9 se observa el hundimiento de la tierra por el agua desprendida. Fue en esta cisterna donde se realizó los cursos de capacitación de *pedreiros*, resultando una cisterna con cierto grado de desnivel, hecho que puede explicar porque no soportó el peso del agua –existe otra cisterna desnivelada (Fotos 20 y 21 de Tabla 9)-. Aun así, otra de las cisternas también sufrió pérdidas a altura media del agua. Ambas fueron arregladas por CONDRI. Por otra parte, otras 3 cisternas fueron llenadas de agua de forma natural, por carro pipa o agua canalizada, sin observarse rotura del suelo.

Se ha comprobado que las cisternas están enterradas menos de la mitad, con excepción de 2, frente a lo inicialmente planeado (entre mitad y 2/3 como se especifica en los documentos de CONDRI). Esta discrepancia puede ser debida a la dificultad de la excavación por aparición de rocas de gran tamaño en el subsuelo. Existen otros pequeños detalles en lo que se refiere a desviaciones en medidas, por ejemplo, la cisterna de Cova do Casado (Canapí) mide de altura interior 1,69 m en vez de 2,10 m, ya que tiene 4 hileras de placas en vez de 5.

Uno de los problemas más llamativos, ha sido que al finalizar la construcción, se suele dejar sin recolocar la tierra de la excavación, llenándose, en algún caso, de agua con las lluvias (Figura 17-a).



(a) -18/12/2013



(b)-27/02/2014

Figura 17. Fotos de cisternas acabadas: (a)-formación de un surco de agua por no recolocar la tierra y (b)-se observa un acabado diferente al resto de las cisternas.

Las incidencias observadas en las cisternas pueden deberse como dicen en el sertão al “*pedreiro rápido*”. Teniendo en cuenta que el equipo de *pedreiros* cobra por cisterna construida, es a veces solo rentable si se emplea menos días y/o con menos *pedreiros* de los necesarios. Por eso, como afirmaban en el grupo focal, prefieren construir cisternas de primera agua (16 m³) ya que lleva menos tiempo y normalmente reciben ayuda de los beneficiarios como ayudante *pedreiro*, disminuyendo entonces el número de *pedreiros* y el tiempo necesario. Además de ello, las cisternas de 52 m³ son mucho más difíciles de cubrir. A todo ello, hay que añadirle como agravante

los problemas en las licitaciones de los materiales, que frecuentemente ocasionaba retrasos en la entrega de los materiales, aumentando aun más, los días laborales del *pedreiro*.

Se pudo observar como *pedreiros* con años de experiencia e impartiendo cursos en la construcción de cisternas, dan como resultado cisternas en las que se puede apreciar un acabado homogéneo y diferente a las demás (Figura 17-b).

BOMBA CARCARÁ II

La bomba Carcará II fue instalada entre los meses de octubre del 2013 a marzo del 2014 en las 19 cisternas a medida que estas iban siendo construidas. Sin embargo, a mediados del mes de Marzo solo funcionaban 9 de ellas (Tabla 10-a), aunque 2 de ellas no pudieron ser testadas porque no había agua en la cisterna.

El motivo principal por el que no funcionan 8/19 bombas es que no se utilizó pegamento en la instalación. El equipo UPM presencié la primera instalación de la bomba Carcará II en la escuela Sítio Cajarama (Major Isidoro), en ella se pudo observar como la bomba viene dada por el fabricante prácticamente montada, pero sin unir el tubo horizontal blanco de PVC exterior (por donde sale el agua) al tubo vertical blanco de PVC del interior. De este modo, es posible instalar la bomba introduciéndola por la boca de hombre (trampilla) y uniendo dichos tubos con pegamento, además de otros detalles como realizar el ajuste de la longitud y los orificios de entrada del agua a la bomba. Los *pedreiros* encargados de la instalación, no siempre pegaron los tubos resultado inoperativa la bomba (ver Fotos 2, 9 y 11 de Tabla 9), porque en ese momento no tenían cola y/o porque no tuvieron ningún tipo de formación de instalación de la bomba. Además, como afirmaron los *pedreiros* en el grupo focal, ninguno de ellos se sentía responsable por el funcionamiento de la bomba. Este mismo problema en la bomba ya fue detectado en las bombas de primera agua (Capítulo 2.2), y viene a reflejar la necesidad de la formación de un equipo técnico especializado en bombas manuales.

CISTERNAS CON:	Nº	%
Bomba funcionando	9	47
Bomba sin funcionar	8	42
Bomba sin testar	2	11
TOTAL	19	100

(a)

ESCUELAS QUE:	Nº	%
Usan la bomba siempre	1	11,1
Usan la bomba parcialmente	2	22,2
No usan la bomba y usan la cisterna	3	33,3
No usan la cisterna	3	33,3
TOTAL	9	100

(b)

Tabla 10. Datos sobre el: (a) funcionamiento de las bombas instaladas y (b)- el uso de las bombas en funcionamiento

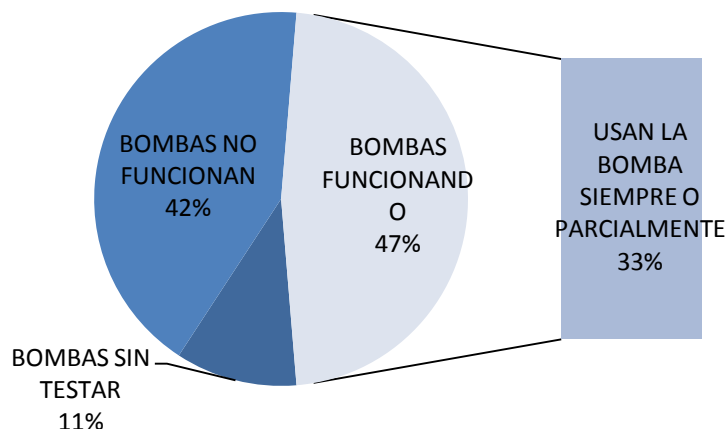


Gráfico 5. Funcionamiento y uso de la Bomba Carcará II en las 19 cisternas escolares que fue instalada.

Otros motivos detectados, pero mucho menos frecuentes relacionados con la inoperatividad de las bombas son: la desaparición de piezas por robos (Foto 4 de Tabla 9) y el defecto de las bombas por problemas en válvulas (canicas).

Por otra parte, solo 3/9 bombas en funcionamiento son usadas por la comunidad escolar (Tabla 10-b y Gráfico 5), si bien es cierto que 3 de las mismas no se usan porque simplemente la cisterna tampoco se usa. La explicación de porqué 3/9 bombas en funcionamiento no se usan, puede ser debido a razones de falta de costumbre, la mayor rapidez con la que se extrae el agua con cuerda y balde, y a debilidades sobre las capacitaciones de los beneficiarios. Cabe resaltar que una de las escuelas con bomba Carcará II inoperativa decidió instalar una bomba eléctrica Figura 18-(b), con canalización a la cocina.

Un detalle interesante es que a alguna de las bombas se les acopló un tubo de PVC en la parte exterior Figura 18-(a), mejorando el direccionamiento del flujo de agua (no salpica)



Figura 18. Fotos: (a)- Bomba Carcará II con tubo de PVC añadido y (b)- Bomba eléctrica instalada en el interior de la cisterna.

SOPORTADO DE LAS CANALIZACIONES

Los **soportes** de la tubería cubierta a cisterna presentan una tipología muy variada (Figura 19, Gráfico 6 y Tabla 11). Esta diversidad es debida a que los soportes de la tubería no están contemplados en el presupuesto del Proyecto, así en cada escuela atendiendo a su infraestructura o recursos, y a los pedreiros en cuestión, se construye el soporte que se estima más adecuado.

Tabla 11. Datos sobre la tipología del soportado de la tubería a cisterna.

TIPOLOGÍA SOPORTE TUBERÍA A CISTERNA	Nº
De madera	3
Apoyado en valla	2
De hormigón	2
Con tubería PVC	1
Apoyado en un tejado más bajo	1
Sin soporte	10
TOTAL	19

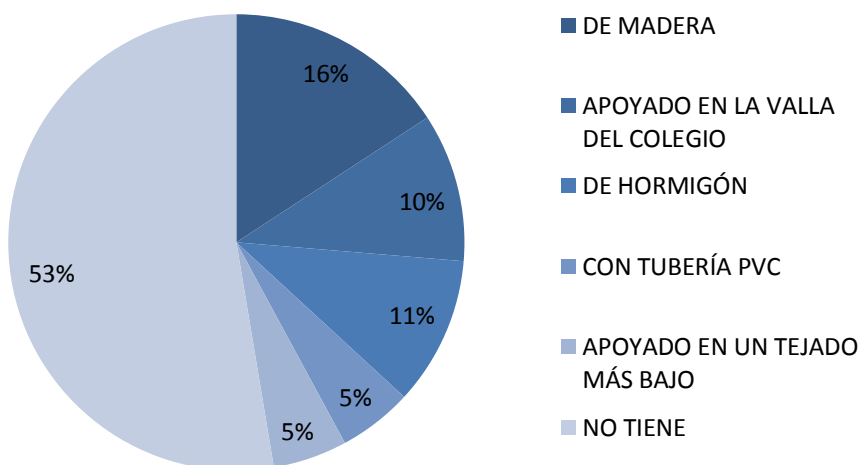


Gráfico 6. Tipología del soportado de la tubería horizontal.



(a)- 13/02/2014



(b)- 18/02/2014



(d)- 11/3/2014



(c)- 16/01/2014



(a)- 11/3/2014



(f)- 10/03/2014

Figura 19. Fotos tipología de los soportes de las canalizaciones a cisterna; (a)-sin soporte, (b)-con tubería PVC, (c)-apoyado en tejado, (d)-apoyado en valla del colegio, (e) con palo de madera y (f)-con viguetas de hormigón armado (mismo molde que la cisterna).

Durante el periodo de monitoreo, 2 de los 9 soportes instalados no cumplieron su función: Uno de hormigón, que por su forma parece pertenecer a la viga de la escuela, cayó al día siguiente de ser instalado (Foto 15 de Tabla 9). Otro de ellos, en este caso de madera, fue perdiendo eficacia, de modo que cuando llovió, la tierra se hundió, siendo verdaderamente la tubería la que aguantaba el peso del soporte. Ello provocó que unos días después el soporte cayera y con él la tubería (ver secuencia Figura 20)



(a)- 20/01/2013



(b)- 11/2/2014

Figura 20. Secuencia de fotos de un soporte de madera en Povoado Pedrão (Olho de água das Flores): (a)-el soporte deja de apoyar debido al asentamiento de la tierra y (b)- el soporte cae y con él la tubería.

Además de ello, existen 10 escuelas en las que no hay ningún tipo de soporte, lo que provoca sobretensiones en la unión de las canalizaciones verticales a horizontal, que dio lugar, en 2 de las escuelas, a roturas en el codo. (Fotos 12 y 16 de Tabla 9).

El equipo UPM, como resultado del primer viaje de desplazamiento a terreno, insistió en la precariedad de los soportes, animando a CONDRI en el diseño y construcción de un soportado más adecuado. En respuesta a estas recomendaciones, se construyeron los soportes de la Figura 19(f). Sin embargo, este soportado de hormigón armado, realizados con el mismo molde de las viguetas de la cubierta –medidas de 3,10x0,13*0,13 metros-, puede presentar debilidades debido a su elevada esbeltez, que afecta al comportamiento a pandeo.

El soportado de las canalizaciones horizontales, canalones en forma rectangular, están sujetos normalmente con palos de madera y alambres entrelazados a la tubería (Figura 21-a). No se ha detectado ninguna incidencia en este soportado, ni siquiera cuando llegaron las lluvias. No obstante, como también se recomendó, este tipo de soportado podría mejorarse, con la inserción de soportes de acero, como el de la Figura 21 –b.



(a)- 20/2/2014



(b)- 27/02/2014

Figura 21. Fotos de la sujeción de los canalones: (a)-usando palos de madera y alambres y (b)- con soportes de acero.

OTROS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RECOGIDA: RECOGIDA DEL AGUA, ÁREA DE CAPTACIÓN, REBOSADERO, TRAMPILLA Y PLACA IDENTIFICADORA

En referencia a la **recogida de agua**, es necesario resaltar que algunas canalizaciones se instalaron incorrectamente, con pendientes positivas o con flujo interrumpido por pequeño grosor de la tubería, provocando en 2 de las cisternas construidas pérdidas de agua e incluso en una de ellas, derrames en la pared (Foto 17 de Tabla 9). Debemos tener en cuenta que en 6 de las 19 cisternas, no se ha comprobado la caída del agua al no haber llovido desde su construcción.

El **área de captación** superaba los 100 m² que exige CONDRI para su instalación, llegando en algunos casos a más de 150 m². Por otra parte, el plástico o lona en 2 de las escuelas fue instalado en orden inverso, con el color negro hacia el interior de la clase, pudiendo ser demasiado oscura la clase (Foto 22 de Tabla 9), aunque también menos calurosa. La lona de plástico según el documento de CONDRI, previene de enfermedades relacionadas con los pardales y murciélagos, pero aun así en algunos casos se vieron nidos de pardales en las esquinas de los tejados (Foto 13 de Tabla 9). Como se reporta en la parte de calidad del agua, existen escuelas en las que la Secretaría de Educación instala redes laterales para impedir la entrada de aves, siendo más efectiva que la lona en sí. El plástico tiene, sin embargo, funciones importantes, como evitar goteras o riesgos de que se caigan tejas en la escuela.

La **trampilla** o boca de hombre presenta un tamaño muy pequeño: 49, 5 cm de largo, 38,5 y 48, 5 cm de ancho abajo y arriba respectivamente. (Foto 23 de Tabla 9). Como consecuencia de ello, muchas escaleras de las escuelas no pueden ser introducidas provocando dificultades en el lavado periódico de la cisterna, o posibles reparos. La chapa además, con la duración de un año se oxida.

Otros pequeños detalles observados son por ejemplo; el incorrecto número de teléfono de reclamaciones que está gravado en las **placas identificadoras** o la falta de **rebosadero** en 3 de las cisternas (una de ellas evacuó el agua por la tubería, Foto 7 de Tabla 9); y un rebosadero con pendiente positiva.

También llama la atención la ausencia generalizada de **respiraderos** y **válvulas de drenaje**.

5.2. RESULTADOS CALIDAD DEL AGUA.

Se presentan los resultados en orden de objetivos. En primer lugar, un breve análisis documental explicando la procedencia del agua de las cisternas (aquella que complementa al agua de lluvia). A continuación, el diagnóstico global de la calidad del agua y su relación con las variables del estudio. Por último, se ha añadido un apartado de otros aspectos que de alguna manera pueden

ayudar al entendimiento complejo de los resultados globales de la calidad del agua en las cisternas.

ESTUDIO DE LA PROCEDENCIA DEL AGUA DE LAS CISTERNAS

El 22% de las escuelas (tomando como base las 57 escuelas de la toma de contacto) reciben agua canalizada desde el Río San Francisco en Pão de Açúcar o en el *Canal do Sertão* a través de la *Companhia de Saneamento de Alagoas- CASAL*. Este porcentaje es mayor que el hallado en la línea de base, en el cual no se superaba el 7% de las escuelas que tenían agua canalizada. Ha podido haber cambios en la línea de tiempo, es decir, instalaciones de agua canalizada en escuelas que no estaban cuando se hizo la línea de base. El agua de la CASAL es tratada exclusivamente por desinfección con cloro, cuando normalmente las aguas superficiales tienen otros tratamientos físicos. La vigilancia sanitaria les corresponde a las Secretarías de Salud, quienes analizan el agua periódicamente en algunos puntos de la red. Las muestras son enviadas a Maceió (la capital), y en caso de estar contaminadas, avisan del lugar y aumentan la cantidad de cloro. Luego tienen un control preventivo y correctivo siempre por cloración.

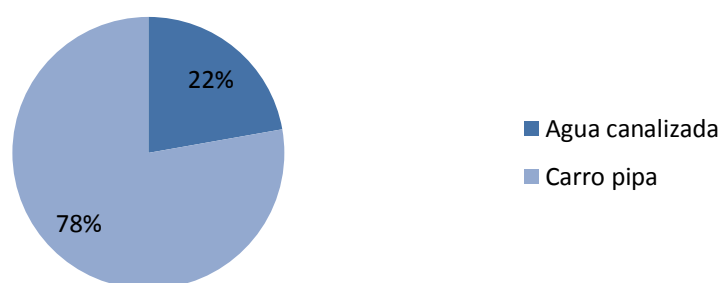


Gráfico 7. Porcentaje de las escuelas en función de la procedencia del agua (sobre el total de las 57 escuelas de la toma de contacto).

Sin embargo, la gran mayoría de las escuelas (más del 78%) – ver Gráfico 7- son abastecidas por camiones (*carros-pipa*) que pueden ser de la Defensa Civil -dentro de los programas *Operação pipa* y *Água é vida*- o municipales, y aunque el agua en ambos casos procede normalmente también de la CASAL, el riesgo de contaminación podría estar incrementado por las condiciones higiénicas del *carro pipa*, además del descenso de cloro ocasionado por el transporte desde la estación de tratamiento a la escuela en cuestión. No obstante, es de señalar, que debido al brote de diarrea que se extendió en más de 52 municipios del Estado entre los meses de Junio y Agosto del 2013 dejando 52 muertes (Brote de gran escala de la diarrea en el estado de Alagoas, Brasil, 2013), se han reforzado e intensificado los controles sanitarios de los carros pipa (Vigilância Sanitária e Defesa Civil inspecionam carros-pipa em AL, 2013), e incluso en el municipio de Major Isidoro se

ha establecido un monitoreo por cloro residual, obligando a los *piperos* a corroborar que posee el cloro suficiente para su utilización.

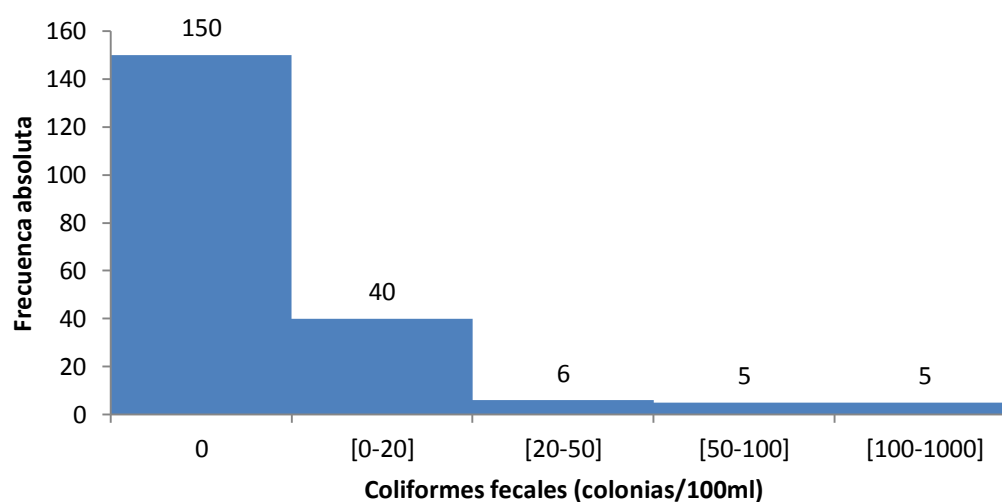
Una de las escuelas del municipio de Canapí recibía agua de una cisterna cuyo origen procede de la Sierra de Urubú situada en el municipio vecino Mata Grande. Se realizaron análisis bacteriológicos en esta cisterna demostrando que el agua de la citada cisterna estaba contaminada por coliformes fecales, la escuela en consecuencia cambio el origen por carros pipas.

DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se exponen a continuación los resultados de los indicadores de la calidad del agua, los parámetros básicos de la calidad del agua: turbidez, coliformes fecales, conductividad eléctrica, ph y cloro residual.

La **turbidez** fue adecuada en todos los casos, la procedencia de las aguas son poco turbias, tanto la lluvia como la del Rio San Francisco.

Coliformes fecales: Se puede ver en el Gráfico 8(a)-frecuencias absolutas y (b)-frecuencias relativas, que el 73% de los análisis (150 de ellos) no contenía coliformes fecales y por tanto, cumplían con los patrones de calidad microbiológica de la PORTARIA N°518/2004. Por otro lado, 40 análisis, casi el 20% si dieron coliformes fecales entre valores de 0 a 20 colonias/100ml. Valores más altos de colonias fecales fueron mucho menos frecuente, sin llegar al 10% para el resto de los valores (entre 20 y 1000 colonias/100 ml). Se puede decir, que existe contaminación fecal en el 27% de los casos, pero es bastante menor que la encontrada en otras cisternas del SAB como se expuso en el Estado de arte.



(a)

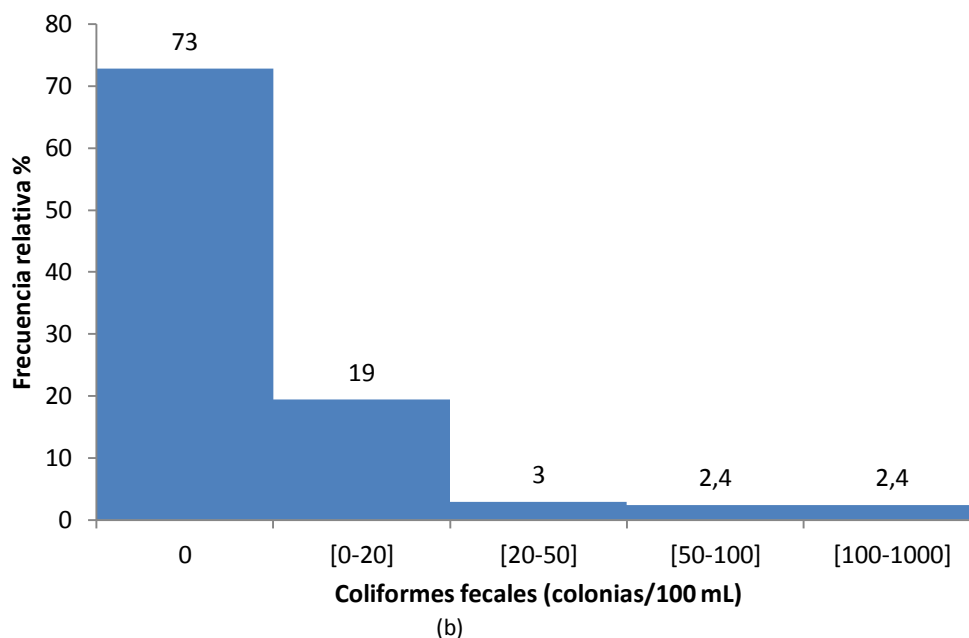
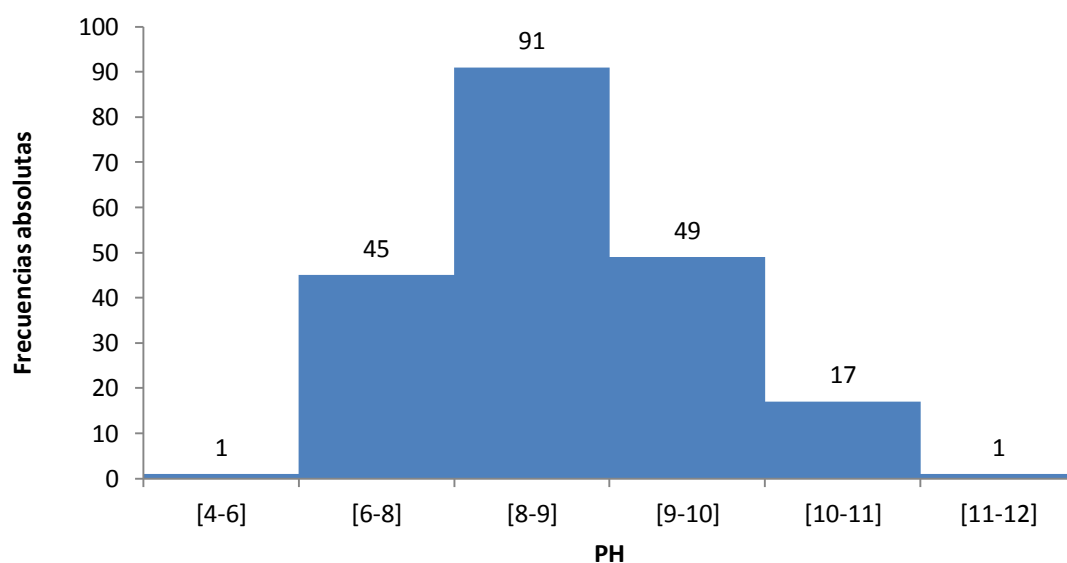
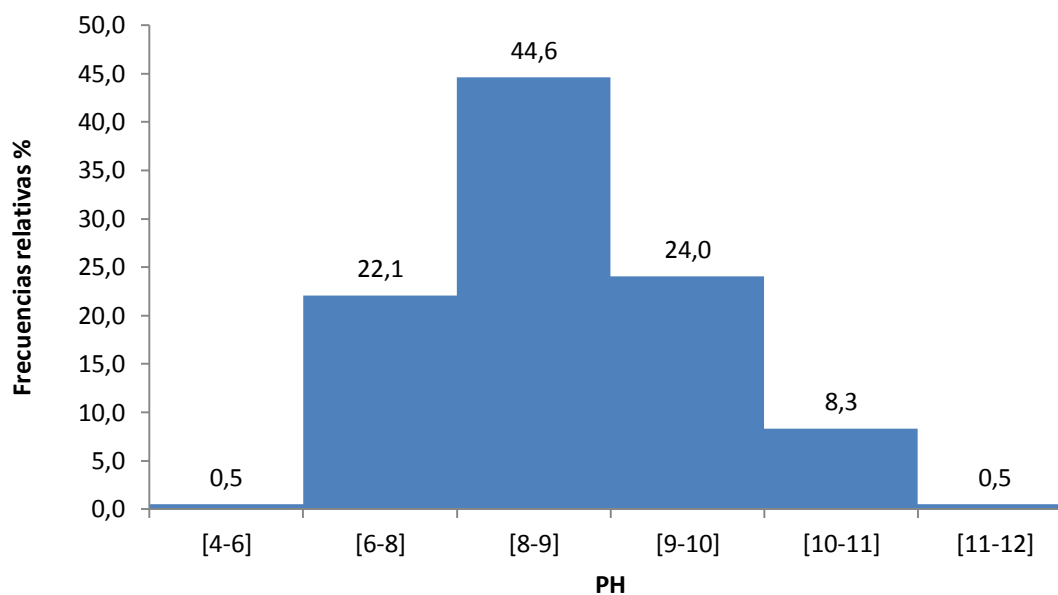


Gráfico 8. Frecuencias de coliformes fecales en las cisternas CONDRI: (a)-frecuencia absoluta y (b)-frecuencia relativa.

El **pH** de las cisternas es, a grandes rasgos, bastante básico. En general, como se explicó en el Estado de arte, es común encontrar valores altos de PH en las cisternas de cemento, debido a la disolución de compuestos del cemento –carbonato o aluminios- en el agua de las cisternas. El agua de la lluvia, además, al tener un PH ligeramente ácido y entrar en contacto con la cisterna, disuelve con mayor facilidad dichos compuestos, convirtiendo el agua más alcalina. Aun así, se midieron valores de PH más altos de lo esperado en las cisternas como se puede ver en el Gráfico 9: el 88,2% de las muestras mostraron valores entre los recomendables, mientras hay 49 muestras con PH mayores de 9, 17 con PH entre 10-11 y 1 mayor que 11. Además, el 70% de las muestras tienen un pH mayor de 8, tornado inefectiva la cloración según la PORTARIA N°514/2004.



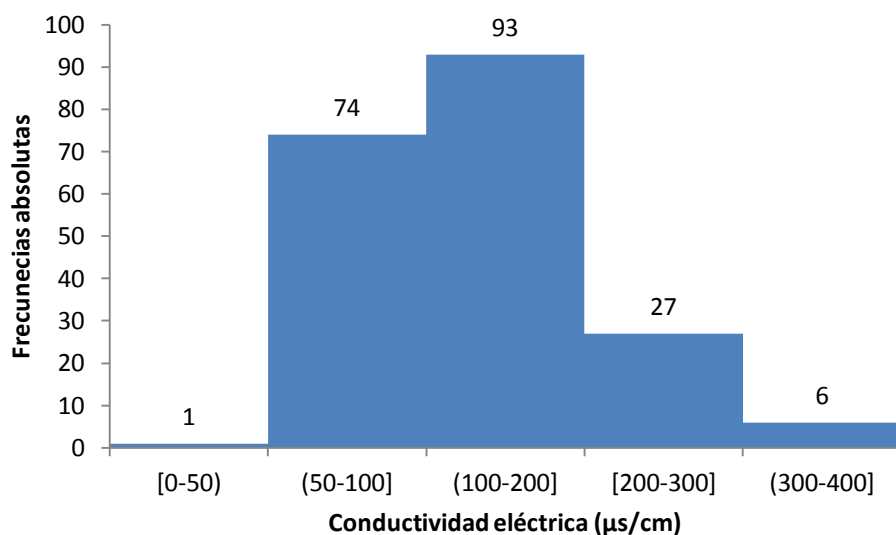
(a)



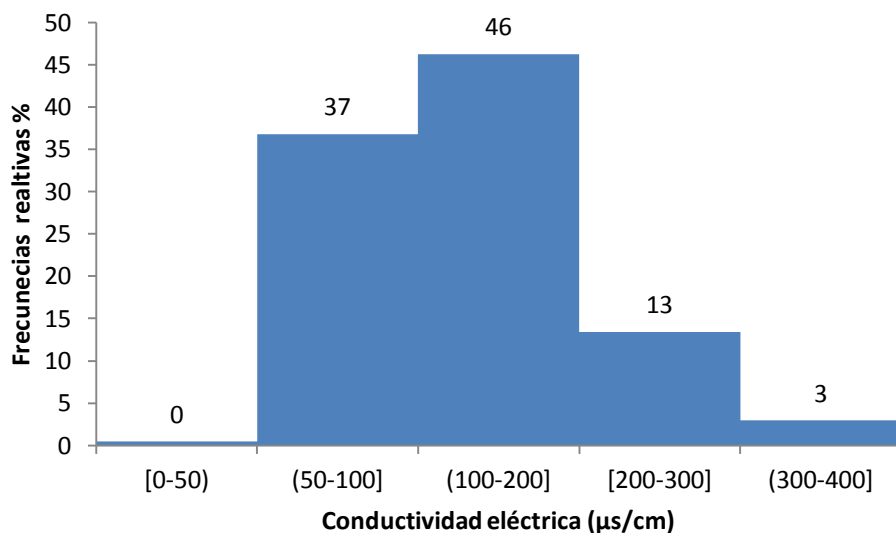
(b)

Gráfico 9. Frecuencias de los valores de PH en las cisternas CONDRI: (a)-frecuencias absolutas y (b)-frecuencias relativas.

La **conductividad eléctrica** –en los sucesivos, CE- se encuentra en el 100% de los casos (ver Gráfico 10) entre los valores aceptados. Es un agua poco mineralizada, mayoritariamente con valores menores de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, característica inherente al agua de lluvia.



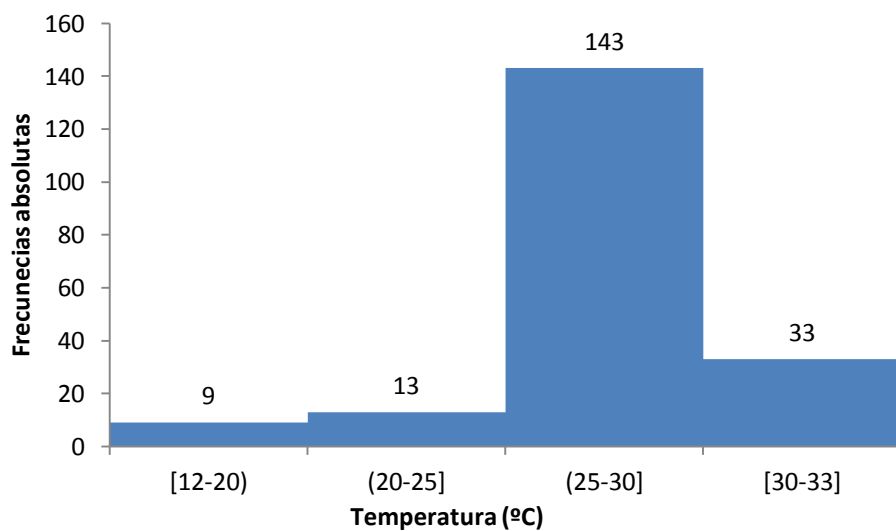
(a)



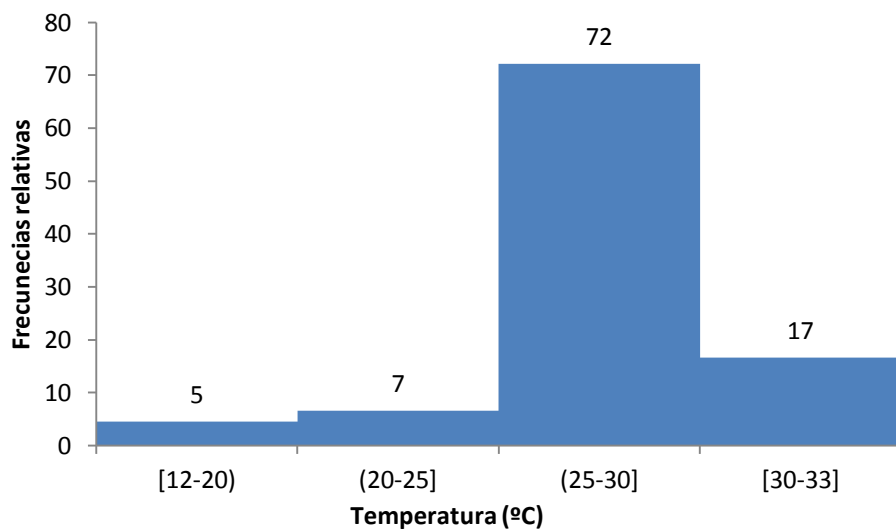
(b)

Gráfico 10. Frecuencias de la conductividad eléctrica de las cisternas CONDRI: (a)-frecuencias absolutas y (b)-frecuencias relativas.

La **temperatura** del agua es bastante elevada debido principalmente a la temperaturas de la zona, muy altas ya de por sí, más aún en los meses del verano en los que se hizo el muestreo, superando casi siempre los 25°C . La temperatura más baja se corresponde con las mediciones en el punto de consumo, a veces en neveras.



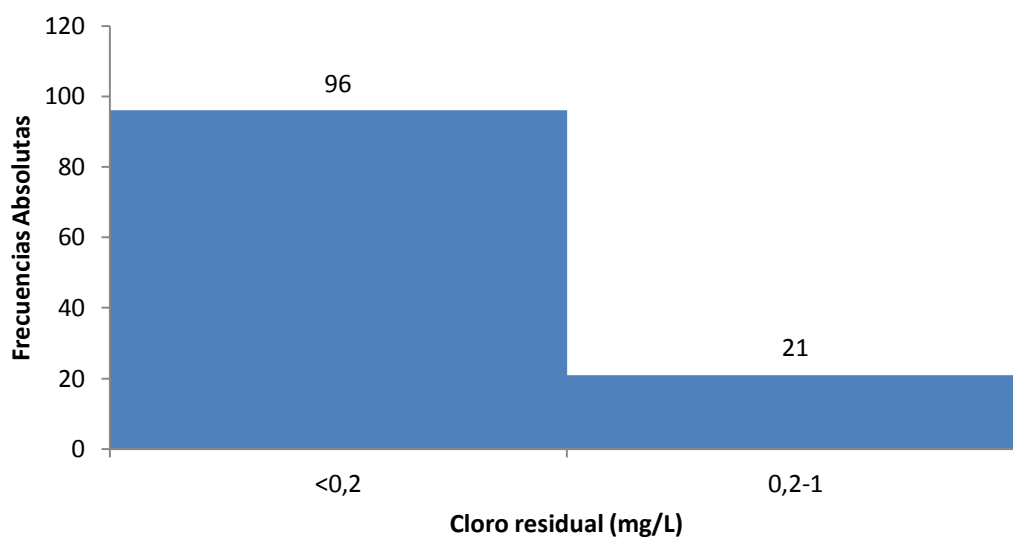
(a)



(b)

Gráfico 11. Frecuencias de los valores de temperatura de las cisternas CONDRI: (a) –frecuencias absolutas y (b)– frecuencias relativas.

Más del 80% de las escuelas Figura 13 de las muestras de aguas no tienen el cloro suficiente recomendado (0,2 mg/L), por varias razones: no se hizo tratamiento (escuelas sin disponibilidad o que aun teniendo deciden no clorar); porque el cloro de los carro pipas no ha sido el suficiente, pudiendo evaporarse o consumirse o porque el pH de las cisternas es tan elevado que hace la cloración ineficaz.



(a)

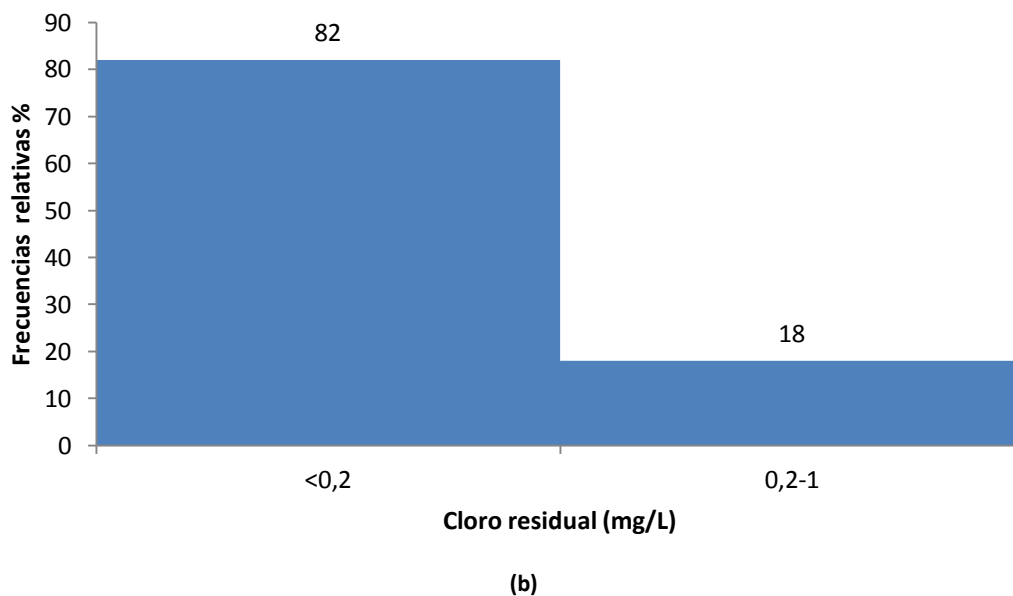


Gráfico 12. Frecuencias de valores de cloro residual en las cisternas CONDRI.

ESTUDIO DE FACTORES INFLUYEN

Se presentan en los siguientes párrafos, la interacción de los factores o variables de estudio encontradas con la calidad del agua. Aquellos que se encuentran más interesantes.

Origen

Se puede apreciar pequeñas diferencias de CE en las muestras ocasionadas por su diferente procedencia Gráfico 13, pero todas ellas en magnitudes conformes a la legislación. La CE del agua canalizada es más baja de lo que cabría esperar, ya que al igual que el agua de *los carros pipa* procede de aguas superficiales, el río San Francisco. Ello se puede explicar porque las muestras que proceden de agua canalizada se hicieron fundamentalmente en el punto de consumo (vaso) y no en la cisterna (porque solo hay una cisterna con agua canalizada). El almacenamiento en cisterna puede aumentar la conductividad del agua debido al cemento. Otra posibilidad es que la cloración del agua canalizada baje la conductividad eléctrica.

Los demás valores son los esperados, el más bajo corresponde con el agua de lluvia (siempre poco mineralizada debido al proceso de destilación natural del agua), agua de carro pipa (procedente del Río San Francisco, como agua superficial suele ser más alta que la de la lluvia) y la del manantial de Canapí (más mineralizadas que las aguas superficiales).

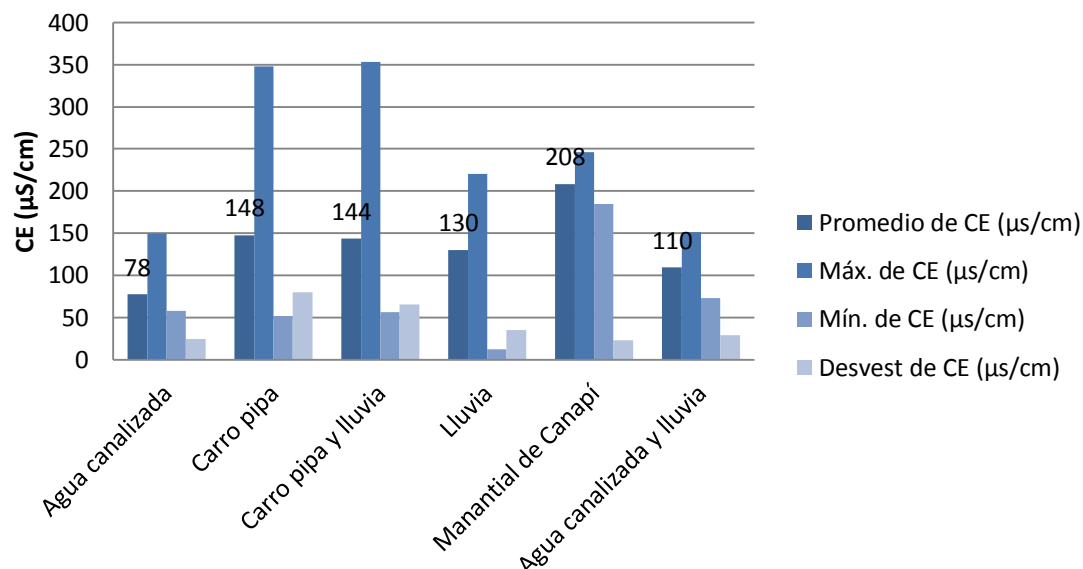


Gráfico 13. Conductividad eléctrica en función de la procedencia del agua.

Se puede ver en el Gráfico 14 la influencia de la procedencia del agua con el porcentaje de muestras coteniendo coliformes fecales. Los análisis de agua de lluvia muestran que el 60% tienen bacterias, ya que probablemente no se tuvieron los cuidados adecuados. El agua del manantial de Canapí, que no recibe ningún tipo de tratamiento le sigue con un 50%. Las aguas con carro pipa y agua canalizada tienen con menos frecuencia bacterias. En el Estado de arte, vimos que algunos autores habían encontrado la relación inversa: más bacterias en aguas de carros pipas que en las de lluvia. Es posible que las recientes inspecciones a los carros pipas hayan mejorado la calidad del agua en el intervalo de tiempo del estudio.

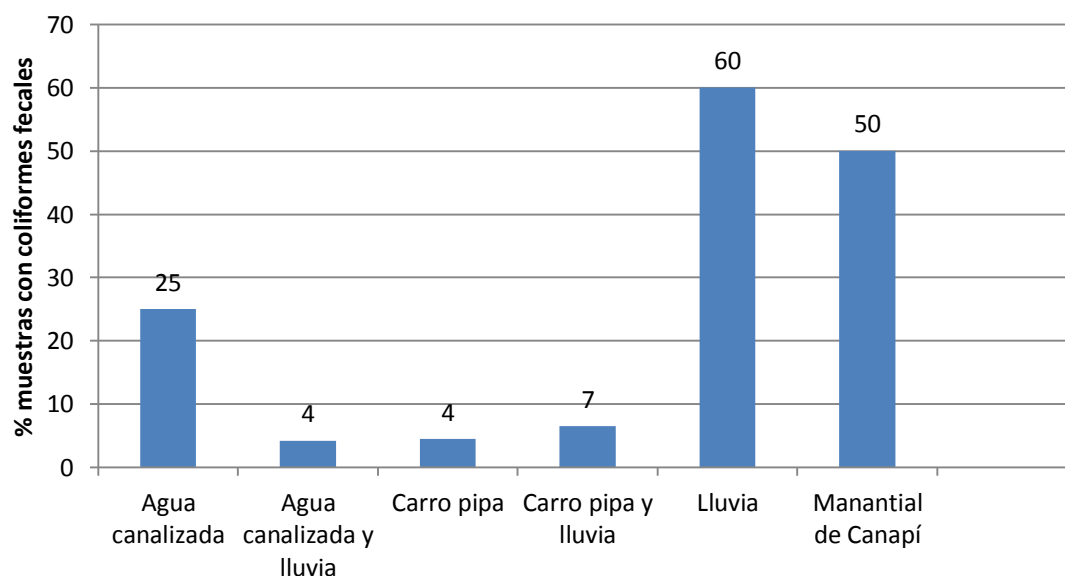


Gráfico 14. Porcentaje de muestras con coliformes fecales en función de la procedencia del agua.

Lluvias

En la gráfica Gráfico 15 se muestra el número de bacterias con el tiempo de monitoración. Si relacionamos además, el tiempo con las lluvias de este intervalo - que ocurrieron en los días 17 de diciembre 2013, 29 de enero, 6 de febrero y 17 de febrero del 2014- podemos observar una cierta relación causa- efecto entre las lluvias y la aparición de las bacterias. Los picos más altos se producen inmediatamente después de las lluvias.

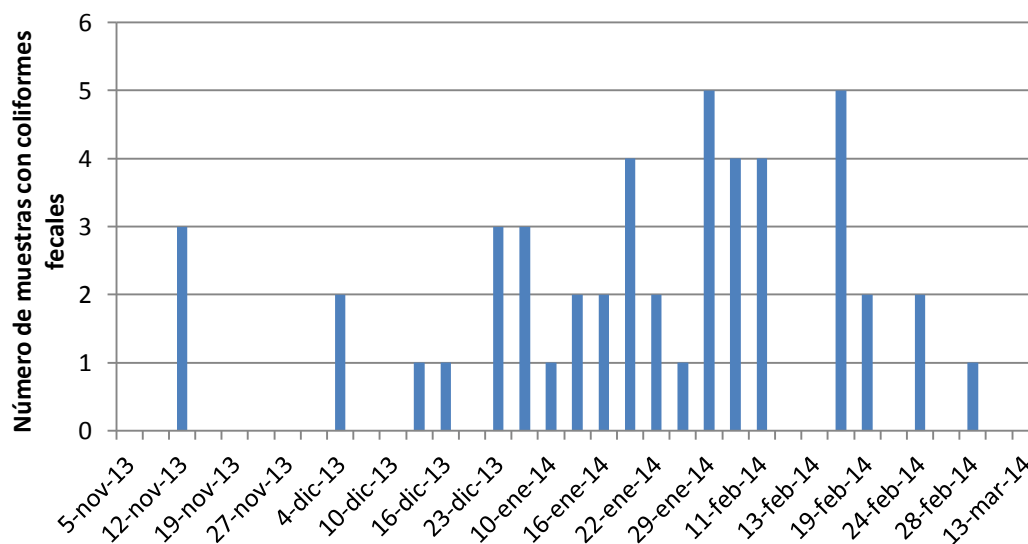


Gráfico 15. Número de muestras con bacterias durante el periodo de muestreo (5 noviembre a 13 Marzo).

No obstante, las lluvias en las comunidades del proyecto tienen una alta variabilidad espacial, afectando cada episodio de lluvia solo a algunas comunidades en concreto. De hecho, nunca llovió simultáneamente en todas las comunidades que tenían cisternas. Y además, si tenemos en cuenta que no todas las cisternas estaban construidas cuando llovió, resulta mucho más significativo estudiar la carga microbiológica según el número de días, semanas o meses que transcurrieron desde la lluvia hasta la medición. Se puede ver claramente un descenso del porcentaje de muestras con bacterias a medida que aumenta el tiempo desde las últimas lluvias, análogamente a lo que habían hallado (Martinson & Thomas, 2003), representado en la Gráfico 2. Este descenso de la población bacteriana probablemente es causado por la muerte bacteriana debida a su vez por el decrecimiento de nutrientes y la sedimentación de bacterias en el fondo.

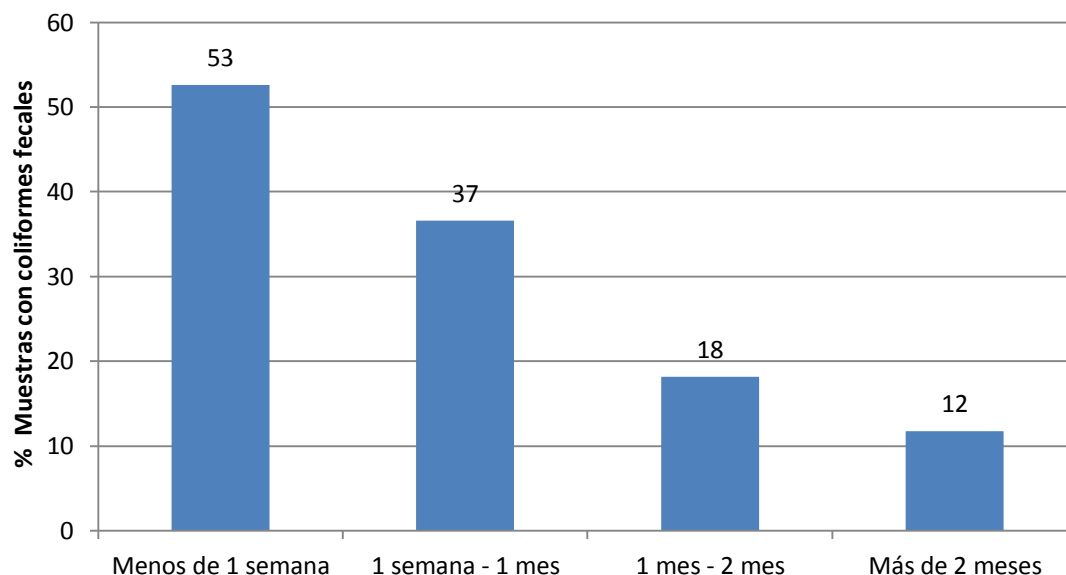


Gráfico 16. Porcentaje del número de muestras con coliformes fecales en función del tiempo transcurrido desde el episodio de lluvia hasta el momento de medición.

Retirada de las primeras aguas

Se ha evaluado la eficacia de la retirada de las primeras aguas, clasificando las escuelas según si realizaban o no la retirada de las primeras aguas. Algunas la realizaron siempre (Figura 22), otras a veces y bastantes nunca. Viendo el Gráfico 17 se puede apreciar que las escuelas que retiraban la tubería para que no se introdujese el agua contaminada del tejado tienen solo un 4% de muestras con bacterias, mientras las escuelas que no la hicieron este valor se incrementó al 61%. Ello demuestra que es una medida de prevención relevante, como ya evaluaron otros autores, ver Gráfico 3 (Nóbrega, 2011) .

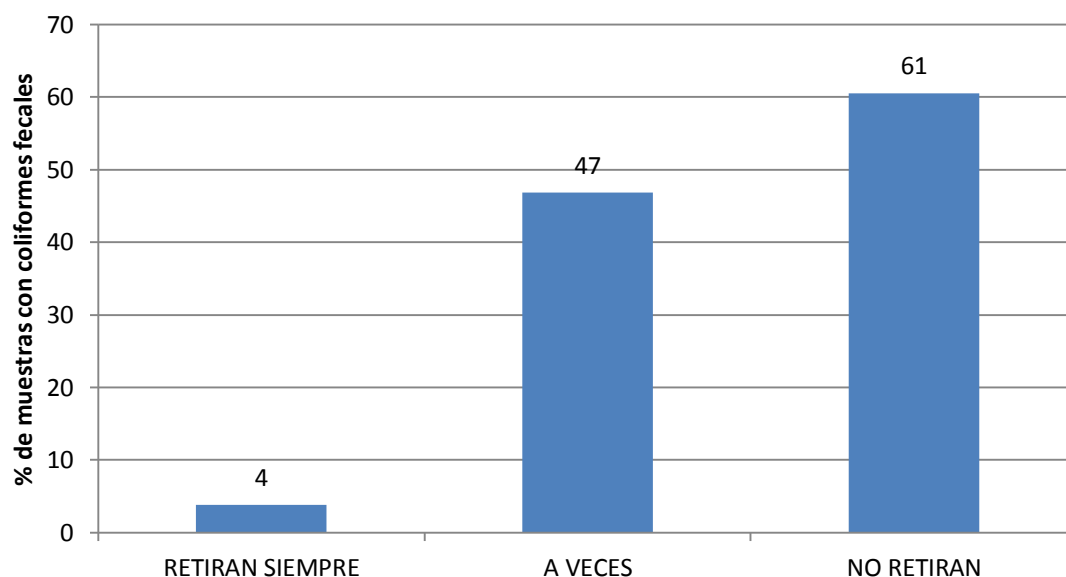


Gráfico 17. Porcentaje del número de muestras con coliformes fecales en función de la retirada de las primeras lluvias.



(a)



(b)

Figura 22. Fotos de escuelas donde se retiraron las primeras aguas de lluvia manualmente: (a)- Lagoa dos Cágados (Major Isidoro) y (b)- Cova do Casado (Canapí).

Funcionamiento de la escuela

Afortunadamente, la mayoría de las veces cuando había coliformes fecales en el agua la escuela estaba cerrada por vacaciones (Gráfico 18. Porcentaje de coliformes fecales en función de la situación de la Escuela.), y puede no ser del todo una coincidencia, ya que son en los meses de enero-febrero cuando se suele producir las “trovoadas”, lluvias fuertes pero aisladas.

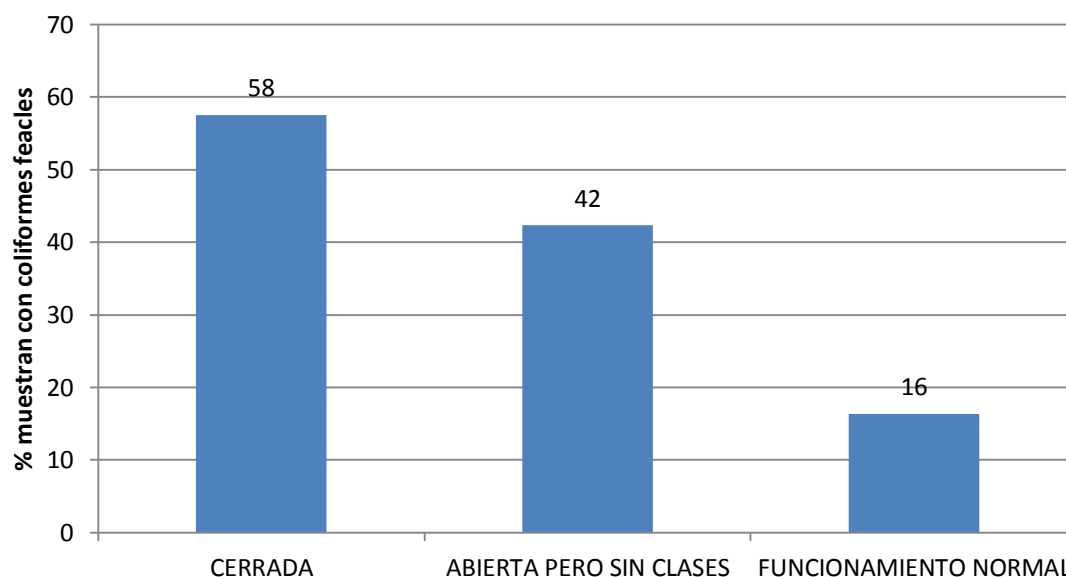


Gráfico 18. Porcentaje de coliformes fecales en función de la situación de la Escuela.

Modo de reservar

Cuando comparamos el valor del PH según el modo de reservar o almacenar el agua, es decir, el tipo de cisterna según su antigüedad o uso, y también con los reservorios de plástico de algunas escuelas beneficiarias pero sin cisterna todavía, se observan varias tendencias Gráfico 19: Las cisternas CONDRI tienen los PH más altos porque son más nuevas y/o no se han lavado adecuadamente. Las cisternas de primera agua o de las comunidades, tienen Ph's ya más bajos porque son más antiguas y los reservorios finalmente tienen el valor más bajo porque no son de cemento, sino de plástico.

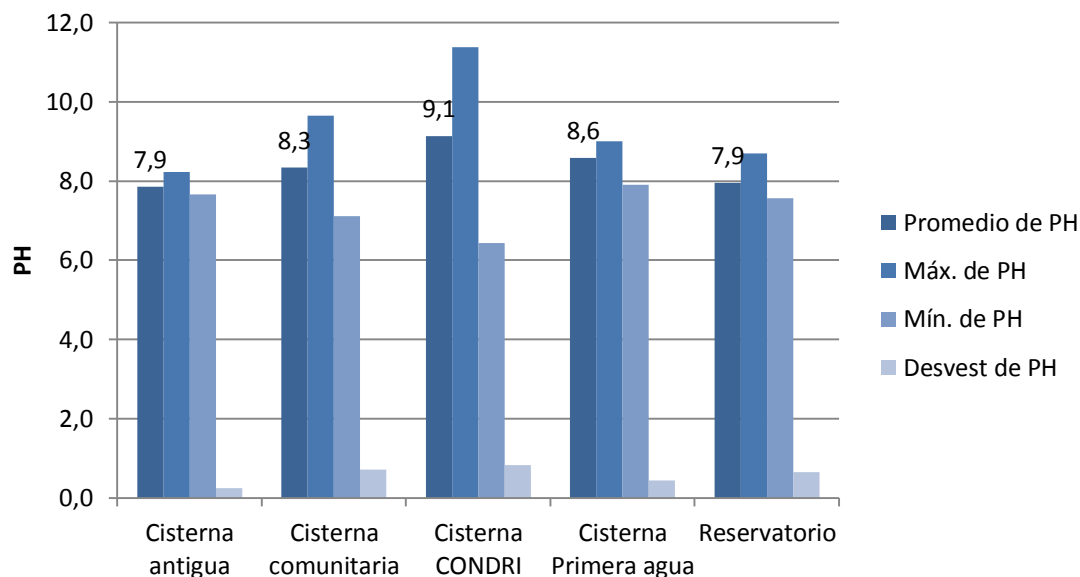


Gráfico 19. Valores de pH según el modo de almacenar el agua.

En la Gráfico 20 se puede ver como la temperatura en los reservorios es 3°C mayor que la temperatura de las cisternas de cemento, siendo estas mucho más adecuadas en base a este criterio.

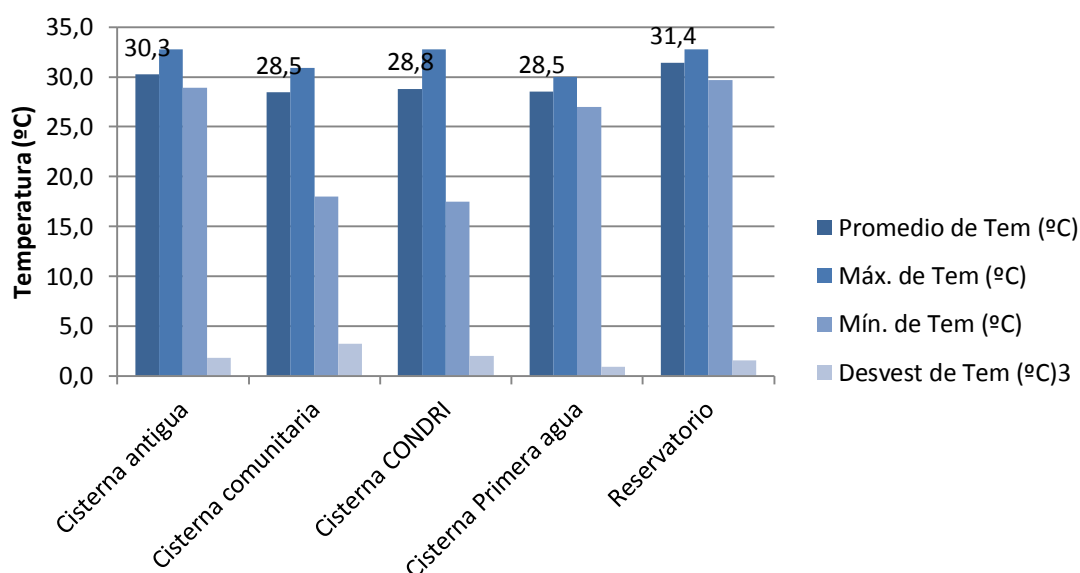


Gráfico 20. Valores de temperatura según el modo de almacenar el agua.

Cuando comparamos el criterio microbiológico, vemos que los valores son bastante similares y no se aprecia cambios importantes Gráfico 21. Las cisternas con más coliformes fecales están en las

cisternas antiguas, seguidas de las de primera agua y de las cisternas CONDRI. Finalmente, las que menos bacterias han tenido son los reservorios de plástico y las cisternas comunitarias.

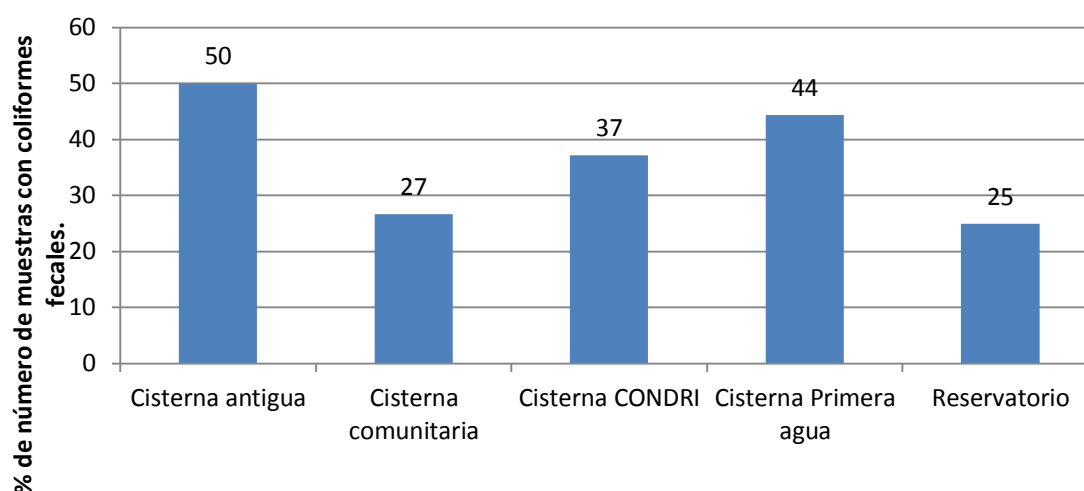


Gráfico 21. Porcentaje de coliformes fecales según el modo de almacenar el agua

Punto de muestreo

Entre el camino de la cisterna al punto de consumo no ha habido contaminación en la mayoría de los casos (o si la habido se ha corregido por tratamiento), debido a que en general el personal de las escuelas era bastante cuidadoso, ordenado y limpio (ver Figura 23 (d)). Así, se ha demostrado que existe una reducción de contaminación biológica en el punto de consumo con respecto al del almacenamiento, probablemente debido al uso de filtros (uso del 68%) y en menor medida al uso de cloro (uso del 47%), ver Figura 23 (a),(b) y (c).

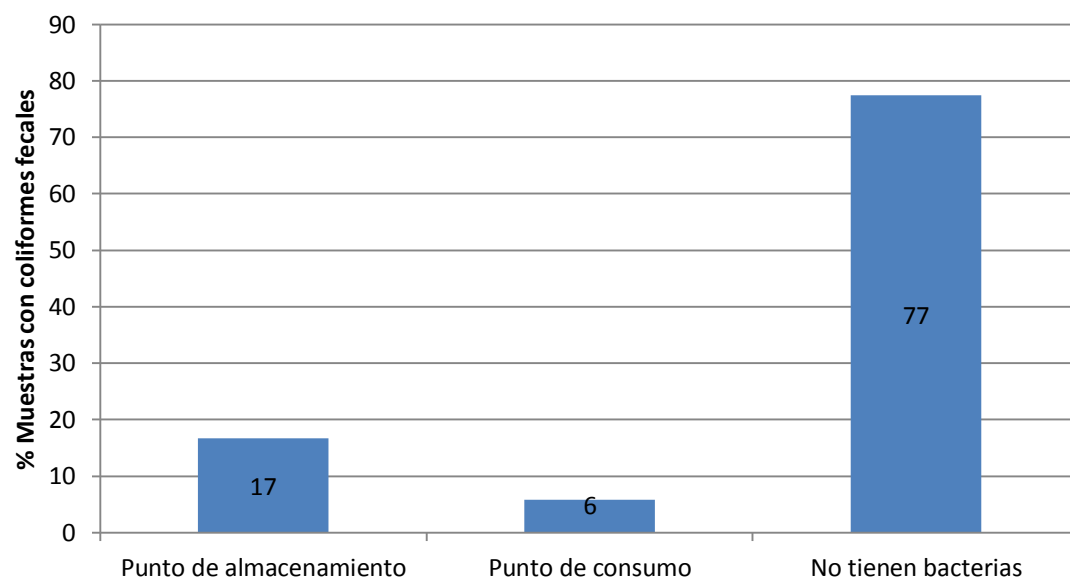


Gráfico 22. Porcentaje de muestras con coliformes fecales según el modo de almacenar el agua.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 23. Fotos de las escuelas del tratamiento del agua y los cuidados higiénicos.

Tiempo de construcción de la cisterna

En el Estado del arte se exponía la relación decreciente entre la edad de la cisterna con la calidad microbiológica. En este caso, se comparó también con el lavado, puesto que el proyecto solo tiene cisternas nuevas y de un año. Se observa que las cisternas de un año han dado valores más altos que las nuevas.

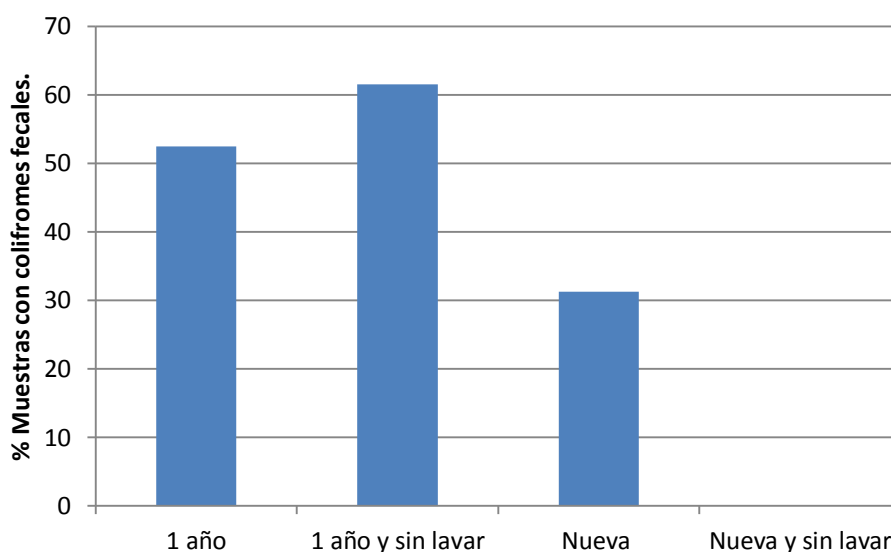


Figura 24. Porcentaje de muestras con el tiempo de construcción y el lavado de la cisterna.

El pH de las cisternas sin lavar es mucho más alto que las cisternas en las que se ha lavado adecuadamente. Se ha apreciado continuamente una gran dificultad en el lavado en las cisternas. En la Figura 25 se muestra el cemento flotando en la cisterna cuyo pH era superior a 10. En la foto contigua se puede ver como se está vaciando una cisterna con mangueras sifonada para poder lavarla.

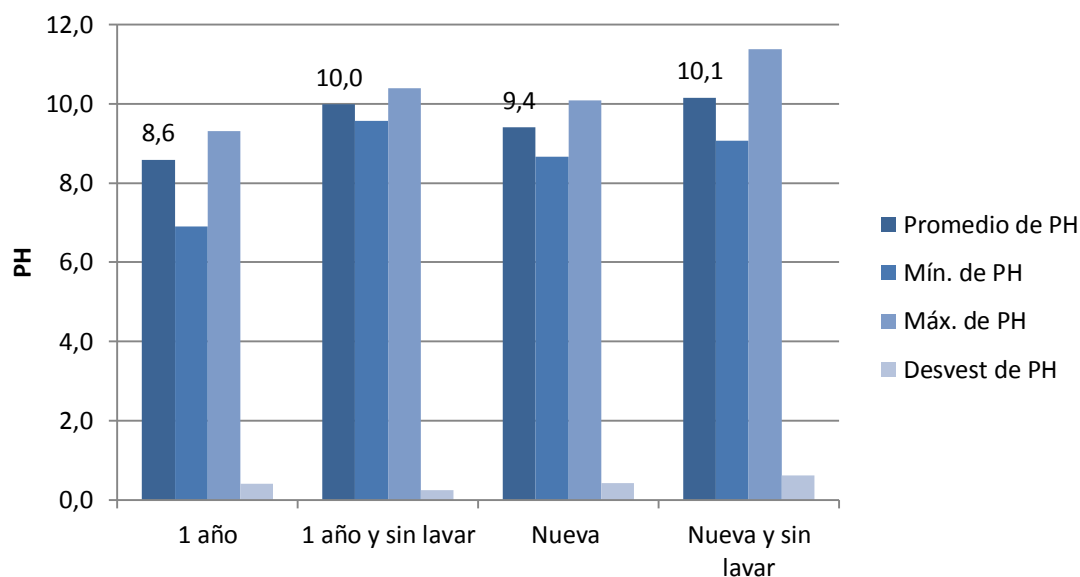


Gráfico 23. Valores de PH en función del tiempo de construcción.



Figura 25. Fotos de las cisternas CONDRI: (a). agua con cemento y (b)- vaciado del agua de la cisterna.

Uso de la bomba

Debido al poco uso de la bomba, como se comentaba en la parte de construcción, no hay muchos datos para comparar, pero lo cierto es que no se ha apreciado diferencias destacadas en función de esta variable de estudio. Aunque el uso de la bomba es un mecanismo de prevención clave y otros trabajos comentados en el Estado de Arte, dieron resultados mucho mejores cuando se usaba la bomba.

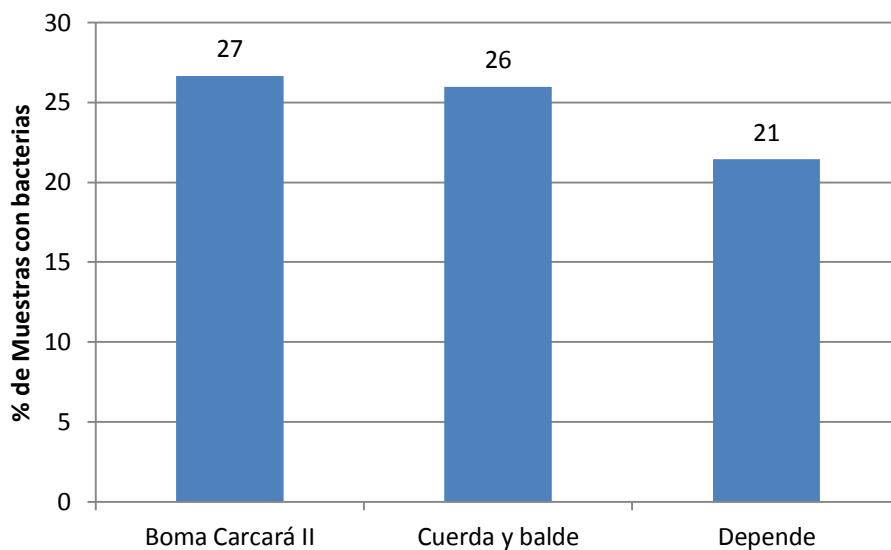


Gráfico 24. Porcentaje de muestras con coliformes fecales en función del modo de extracción del agua de la cisterna.

OTROS ASPECTOS

Se comentan otros aspectos que pueden resultar relevantes para el entendimiento global, pero que no fueron recogidos en la metodología.

Redes y filtros

No se ha encontrado ninguna maya en el rebosadero u otros orificios de la cisterna para evitar la entrada de pequeños insectos, entre ellos, los vectores del dengue. Sin embargo, si se colocaron dos redes que con la llegada de las lluvias hicieron su función: impedir la entrada de restos orgánicos, etc... aunque después de dos días, ninguno de los dos había sido lavado, por lo que estarían contaminando las siguientes lluvias.



(a)



(b)

Figura 26. Fotos de las dos redes o mayas de las cisternas CONDRI después de las lluvias.

Capacitaciones de los beneficiarios

No se realizaron todavía todas las capacitaciones en los municipios donde fueron construidas las cisternas, y en las que se hicieron había demasiadas personas para ser efectivas. Por otra parte, los materiales de la capacitación contienen la mayoría de los aspectos más importantes sobre la calidad del agua, consejos como tales:

- Realizar la retirada de las primeras aguas
- Uso de la bomba
- Explicación de las enfermedades relacionadas con el agua
- No criar peces en las cisternas
- Limpieza del tejado, cisterna y tuberías.

La única corrección que se podría hacer en los materiales, es que en ellas, se especifica que no se debe juntar con otras fuentes, presas y embalses (que es totalmente lógico), pero también se incluye no mezclar carro pipa. En muchas escuelas es imposible abastecerse solo con el agua de la lluvia, obligatoriamente tienen que mezclarlas.

Probabilidad de que las cisternas se llenen con agua de lluvia

Se realizó una estimación para conocer la probabilidad de que las cisternas se llenen con agua de lluvia, partiendo de los datos de la ANA (Agência Nacional de Águas- ANA, 2014). Ante la ausencia de datos corroborados se ha realizado una serie de suposiciones: La cisterna es gestionada durante todo el año y se recogen todas las lluvias de todos los meses, pero no se consume en los meses de Julio y Enero por vacaciones; coeficiente de pérdidas del 25%; área de captación de 100 m²; dotación de 6 l/día por alumno; y desprecio de las primeras aguas.

Los resultados muestran que depende lógicamente del número de alumnos de las escuelas, así como de las precipitaciones del año en concreto. Por ejemplo, para una escuela con 28 alumnos, el volumen de agua será suficiente para satisfacer la demanda de la comunidad escolar durante todo el año en el caso de que sea un año de precipitaciones media Gráfico 25 -(a), mientras que en el caso de que sea un año seco, la demanda de consumo a partir del mes de Abril sería superior al volumen disponible (Gráfico 25 -(b)). Por supuesto, si es el número de alumnos es superior a 28, el agua de la lluvia sería insuficiente.

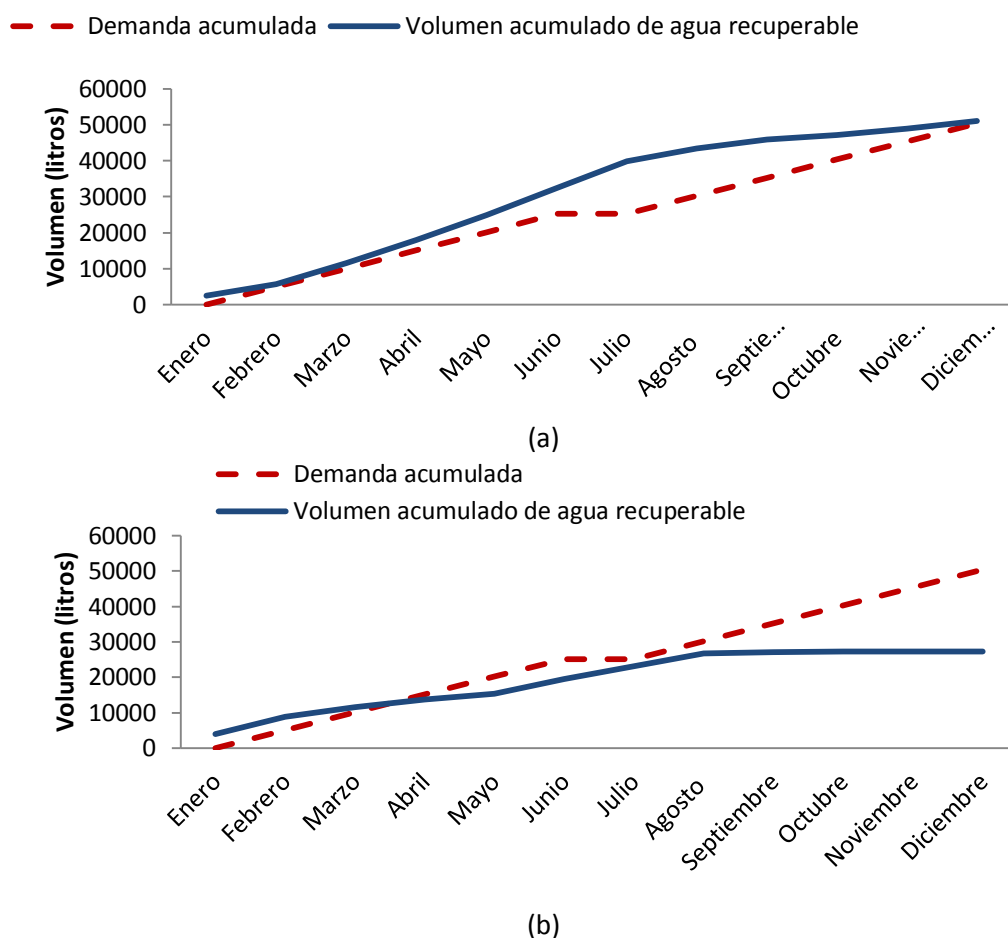


Gráfico 25. Estimaciones del balance mensual hídrico en el caso de una escuela con 28 alumnos: (a) un año de precipitaciones medias y (b) un año seco.

Si tenemos en cuenta además, que el Sertão Alagoano tiene una variabilidad temporal y espacial altísima de las precipitaciones (Emerson, 2012), de modo que puede estar lloviendo en una comunidad y en la continua a menos de 300 no llover: es muy difícil saber cuántas cisternas se van a llenar solo con el agua de lluvia, pero podemos afirmar que esto no va a ser posible en todas y que dependerá además del año.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO “ÁGUA PARA EDUCAR”.

En base al trabajo realizado se dan conclusiones y se anuncian algunas mejoras o recomendaciones que esperan poder contribuir al Proyecto en sí y a muchos más que surgirán en el Semiárido Brasileño especialmente, pero también en otros lugares.

6.1. CONCLUSIONES TÉCNICAS SOBRE LOS SISTEMAS DE RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA EN LAS ESCUELAS.

Los Sistemas de recogida del agua contruidos en el *Sertão* de Alagoas presentan algunas debilidades importantes, entre ellas, destacan; el acabado irregular de las piezas de hormigón por falta de vibración; la precariedad de los soportes de las canalizaciones (con alto riesgo de caída y en consecuencia pérdida de la capacidad de recolectar agua de lluvia); y la baja durabilidad de la bomba.

En general, se observa que existe una escasa supervisión y comprobación por parte de CONDRI sobre el trabajo realizado por los *pedreiros*, resultando cisternas sin acabar y/o con incidencias o defectos sin arreglar, comprometiendo la sostenibilidad del Proyecto. Por otra parte, es importante hacer hincapié que, una vez CONDRI era informado sobre los problemas en los Sistemas, más como consecuencia de la propia Evaluación que de la supervisión de los técnicos, se aprecia una positiva predisposición de CONDRI a reparar las incidencias y a mejorar los Sistemas de recogida de agua de lluvia.

Se recomienda aumentar el presupuesto del Proyecto o construir menos cisternas, de modo que se incluyan:

- Materiales para construir soportes adecuados y aumentar la espesura del suelo (15 cm).
- Aumentar el salario de los *pedreiros* de modo que sea equitativo a la retribución que obtienen con la construcción de las cisternas de primera agua.
- Hacer una capacitación técnica de la bomba (instalación, mantenimiento, reparación y reposición de piezas), pudiendo además generar empleo local, ya que junto a las bombas de primer agua, existen del orden de 10 miles unidades.
- Garantizar el acompañamiento técnico de CONDRI durante las obras y sobretodo en la supervisión cuando se finaliza la construcción.

6.2. CONCLUSIONES DE LA CALIDAD DEL AGUA

- La calidad del agua en los Sistemas de recogida de agua de lluvia del Sertão de Alagoas cumple el 73% de las veces con el criterio microbiológico en coliformes fecales de la PORTARIA Nº514/2004 de Brasil, que establece como requisito no presentar ningún coliforme fecal por cada 100 ml. Si bien, es deseable reducir a cero esta cifra, cisternas de agua en el Semiárido Brasileño han presentado valores más altos.
- Los valores físico-químicos –turbidez, conductividad eléctrica, temperatura y pH - se encuentran dentro de los límites tolerables, aunque en el caso del pH hay un 8% de los valores fuera de los valores recomendados [6,5-9,5] según la legislación del país. Ello es debido al cemento de las cisternas pero sobre todo a la dificultad en lavado de la cisterna.
- El cloro residual es en el 80% de los casos insuficiente, puesto que es menor a 0,2 mg/L: cantidad insuficiente, evaporación o ineficacia del tratamiento por el pH tan elevados son algunas de las posibles causas. La PORTARIA Nº518/2004 recomienda no hacer cloración cuando el pH sea mayor de 8 ya que entonces es inefectiva. Por tanto, no es un mecanismo de tratamiento adecuado.
- La cisternas que recogen agua de lluvia han demostrado calidad inferior (60% de muestras con bacterias) a las llenadas por *carro pipa* o a sus mezclas, que puede ser explicado por el aumento de las inspecciones de los de *carros pipas* por parte de la vigilancia sanitaria del Estado de Alagoas, pero también por no realizar las medidas de prevención que el agua de lluvia merece. En el estudio realizado, al igual que otros, ha demostrado que la retira de las primeras aguas reducía prácticamente el contenido de bacterias. Por tanto es crucial para prevenir la contaminación en las escuelas. En este trabajo se han mostrado varios ejemplos de dispositivos de retirada de primeras aguas automáticos por varios autores y también se destaca, a continuación, el diseñado en el laboratorio de hidráulica aplicada al Desarrollo Figura 27 (a) y (b). Consiste en una desviación en T de la tubería hacia un depósito que tiene una válvula con boya flotante, de modo que cuando se llena la boya cierra el paso al depósito de acumulación de las primeras aguas dispositivo cierra y el agua (ya limpia) se dirige a la cisterna de acumulación. El depósito debe tener una capacidad del orden de 100 a 200 litros. Estos dispositivos son muy económicos y de muy fácil manejo, pudiendo además aprovechar el agua de las primeras lluvias para otros usos.



(a)



(b)

Figura 27. Fotos de la maqueta *Sistemas de Recogida de agua de lluvia* realizado en el Laboratorio de hidráulica aplicada al Desarrollo (Universidad Politécnica de Madrid): (a)- Maqueta del Sistema y (b)- Foto del dispositivo automático de retirada de primeras aguas.

- Otras medidas de prevención como mayas y redes en las tuberías no se recomiendan, ya que requieren lavados periódicos. Sin embargo, si se decide instalarlos, debe hacerse siempre después de la línea de flujo de la retirada de las primeras aguas, ya que de lo contrario, una vez desviada dicha agua, el agua limpia estaría ensuciándose de nuevo al pasar por el filtro. Por otro lado, las mayas y redes, así como cualquier orificio de la cisterna si se recomiendan, para prevenir la entrada de insectos vectores de enfermedades, como el dengue.
- El sobredimensionado de la cisterna puede ser perjudicial para la calidad del agua, ya que se vacía menos veces impidiendo o dificultando el lavado, que dada las dimensiones de la cisterna, ya de por sí es complicado, como se ha podido observar. Cisternas más pequeñas (una o varias en función del número de alumnos) podrían resultar más adecuadas, ya que no sería necesario usar excavadora, tendría menos errores constructivos y el lavado sería más sencillo. Además en las escuelas que se necesitase más de una, el agua podría dividirse por origen o usos en función de la calidad, y cuando se realizase la limpieza en una, siempre se tendría otra disponible.
- El principal problema de la calidad del agua en las escuelas es que están fuera del ámbito de la vigilancia sanitaria (excepto aquellas con agua canalizada), a pesar de ser un agua destinada al consumo humano y por tanto, en coherencia con la legislación brasileña – materializada en la PORTARIA Nº518/2004- deberían realizarse un monitoreo continuo en las escuelas. Sea el agua procedente de carro pipa o canalizada, el tratamiento en el *Sertão alagoano* siempre es por cloración (ambos realizados por la CASAL). Adicionalmente, el Ministerio de Salud de Brasil reparte cloro en las escuelas (aunque no

siempre existe suficiente para todos). A menudo, cuando el abastecimiento en las cisternas es complementada con *carro pipa* (las cuales en principio ya tienen cloro), surge el dilema en las escuelas de si deben clorar más. Un exceso de cloración puede ser también perjudicar para la salud, además de generar rechazo en la población. Sería muy útil que las escuelas tengan información sobre el cloro que contiene el agua que reciben y el pH, ya que valores tan altos de pH puede inutilizar la cloración. Los filtros, por el contrario, han demostrado efectividad y deben ser siempre que se pueda usados. Se debe estudiar la posibilidad de realizar la desinfección solar y local, conocida como SODIS, en las escuelas, ya que además de ser de bajo coste no se ve interferida por valores altos de pH.

7. CONCLUSIÓN FINAL

El presente trabajo ha detectado los problemas de calidad del agua de las cisternas en escuelas construidas del *Sertão de Alagoas*, aunque con magnitudes mucho menos alarmantes que en otras regiones del Semiárido Brasileño. Dado el alcance y los objetivos inicial del proyecto se han incluido algunas recomendaciones.

Se ha podido observar y constatar la pertinencia de la construcción de cisternas de captación de agua de lluvia en el semiárido brasileño como Tecnología Social, por su construcción local, necesidad y eficacia contra la sequía.

La metodología empleada ha sido adecuada pudiendo establecer relaciones causa-efecto en la calidad del agua y adaptada a las circunstancias del proyecto. Destacar que la incubadora para el análisis microbiológico construida en el laboratorio de Hidráulica aplicada al Desarrollo el bajo el GCSASD ha funcionado correctamente durante todos los análisis realizados.

REFERENCIAS

- Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia . (2014). *Rede de Tecnología Social*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.rts.org.br/rts/a-rts/proposito>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008). *El cambio climático y el agua: Documento técnico VI del Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Acción contra el hambre. (2005). *Water, sanitation and hygienen for population at risk*.
- Agência Nacional de Águas- ANA. (2014). *Sistema de Informações Hidrologicas* . Obtenido de <http://hidroweb.ana.gov.br/>
- Alves, F. (2012). Qualidade de água em cisternas do Semiárido Pernambucano. *8ºSimposio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*.
- American Water Works Association. (2000). *Standars Methods for the examination of water and wastewater*.
- ASA. (2014). *Articulação do Semi-árido Brasileiro: Programa 1 milhão de Cisternas*. Recuperado el 2014, de http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150
- Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva -ABCMAC. (2000). *Simposios Brasileiros de Captação de Água de Chuva*. Recuperado el 2014
- Brito, L., & Porto, E. (2005). Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE. *5º Simposiio Brasileiro de Captação e Manejo da água de chuva*.
- Brote de gran escala de la diarrea en el estado de Alagoas, Brasil. (2013). *Sitasa*.
- Canal Isabel II. (5 de Junio de 2014). 9º Foro Agua para el Desarrollo. Madrid, España.
- Cardoso Ventura, A., Fernández Garcia, L., & Gualdani, C. (2013). A importância das tecnologias sociais para enfrentar a escassez hídrica e para o desenvolvimento. *Diseñi y Tecnología para el Desarrollo*.
- Carneiro Tavares, A. (2009). Aspectos físicos, químicos e microbilógicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais no Semi-árido Paraibano. Campina Grande, Paraíba.

- Centro Español de Metrología. (2008). Evaluación de datos de Medición: Guía para la expresión de la incertidumbre en la medida.
- Cleide Cavalcante de Amorim, M. (2001). Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de Cisternas: Estudo de caso no município de Petrolina-PE.
- Consortio para o Desenvolvimento da Região do Ipanema. (Eneno de 2013). Projeto básico água para educar em comunidades escolares da Região do Ipanema, Alagoas, Brasil. Brasil.
- Dew Point. (2008). Technical Enquiry Practical experiences with field water quality testing kits and equipment.
- Emerson, R. R. (2012). Variabilidad del número de días de lluvia en el Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*.
- Freitas dos Santos, M., Angelico Araújo, R., & Silvio Roberto, M. (2012). Qualidade da água de chuva armazenada em cisternas rurais na região de Serrinha/BA. *8º Simposio Brasileiro de Captação e Manejo de água de Chuva*.
- Gnadlinger, J. (2007). Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no Semi-árido brasileiro. *6º Simposio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*.
- Hagemann, S. E. (2009). *Avaliação da qualidade da água da Chuva e da viabilidade da sua captação e uso*. Santa Maria.
- Heijnen, H. (2012). Captação de Água de chuva. Qualidade da Água e Saúde. . *8º Simposio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de chuva*.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2007). *Mapas del Semiárido Brasileiro*. Obtenido de <http://mapas.ibge.gov.br/politico-administrativo/estaduais>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios: Resultados do Universo*. Obtenido de <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=al>
- Instituto de Sanidad Pública. Consejería de Sanidad y Consumo. Comunidad de Madrid. (2004). *Manual de autogestión y control de abastecimientos de agua de consumo público*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1997). *Impactos regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidades*. América Latina.
- Koneman, E. W. (2009). *Diagnóstico microbiológico*.
- Mancebo Piqueras, J. A. (2013). *Proyecto Cisternas 3ª Agua del "Programa Cisternas"-BR-007- Breve reseña de notas de viaje*. Madrid.

- Martinson, D., & Thomas, T. (2003). Research into roofwater harvesting for water supply in low-income countries.
- Ministério da Integração Nacional. (2005). *Nova Delimitação do Semi-árido brasileiro*.
- Ministério de Saúde de Brazil. (2004). PORTARIA Nº518 /2004 vigilância da qualidade da água.
- Naciones Unidas. (2000). A/RES/55/2 Resolución Asamblea general de Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2013). Objetivo de Desarrollo del Milenio. Informe del 2013.
- Neto, C. O. (2004). Proteção Sanitária das cisternas rurais. Natal.
- Neto, C. O. (2012). O descarte das primeiras águas e a qualidade da água. *Simposio brasileiro de Captação e Manejo da água*.
- Nóbrega, R. L. (2011). Avaliação da Qualidade da Água e da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva.
- Organización Mundial de la Salud. (1996). *Water quality monitorin Chapter 10*.
- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Enfermedades relacionadas con el agua*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/
- Organización Paramericana de la Salud. (2004). Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida.
- Organización Paramericana de la Salud. (2009). Medición del cloro residual.
- Orquín, J. M., & Macebo, J. A. (2013). Análisis estructural de depósitos de agua realizados en escuelas de Brasil. *Jornadas Internaciones de Bombas manuales y de Ariete*.
- Polo Castano, C. D., González Abelleira, M., & Ramos, E. (2013). Bombas de émbolo de PVC tipo Carcará. Aplicación a la extracción de aguas pluviales en cisternas del semiárido brasileño. *Diseño y Tencología para el Desarrollo*.
- Polo Castaño, C. D. (2014). Diseño y construcción de uma bomba manual de émbolo para cisternas de aguas pluviales y pozos someros. *Proyecto Fin de Carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial*. Madrid.
- Roger Y.Stanier, J. L. (1992). *Microbiología*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- Spinks, A. T., Coombes, P., Dunstan, R., & Kuczera, G. (2003). Water Quality Treatment Processes in Domestic Rainwater Harvesting Systems. *28th International Hydrology and Water Resources*.
- Sullivan, C. (2002). Calculating a Water Poverty Index.

- Texas Water Development Board. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Austin.
- Thomas, D. B. (2003). Improving water quality by design. *XI IRCSA CONFERENCE -- PROCEEDINGS*.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2001). *UNESCO -Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables: Bioma Caatinga*. Recuperado el Junio de 2014, de <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=gen&code=BRA+04>
- Ventura da Silva, C. (2006). Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Aracuaí, MG. Belo Horizonte.
- Vigilância Sanitária e Defesa Civil inspecionam carros-pipa em AL. (2013). págs. <http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2014/01/vigilancia-sanitaria-e-defesa-civil-inspecionam-carros-pipa-em-al.html>.
- World Health Organization. (2002). *Evaluation of the H2S Method for Detection of Fecal Contamination fo Drinking Water*. Geneva.
- World Health Organization. (2011). *Guidelines for drinking quality water: 4th Edition*.
- World Health Organization. (2012). *Water Quality and Health strategy 2013-2020*.
- World Health Organization/UNICEF. (2005). *Water for life. Making it happen. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. Geneva.

ANEXO I: LISTADO DE VISITAS REALIZAS Y REGISTRO DE MUESTREO

Tabla 12. Listado de las visitas de toma de contacto (entrada por fecha).

FECHA	ESCUELA	COMUNIDAD	MUNICIPIO
24/09/2013	EMEIF MANOEL PEDRO DE MELO	BANANEIRA	SÃO JOSÉ DA TAPERA
24/09/2013	E.M.E.F - POSSIDÔNIO GADI	SÍTIO CACHOEIRINHA	SÃO JOSÉ DA TAPERA
24/09/2013	E.M.E.F - 15 DE NOVENBRO	LOGRADOR	SÃO JOSÉ DA TAPERA
24/09/2013	E.M.E.F - WASHINGTON SOARES GAIA	SÍTIO CACIMBAS	SÃO JOSÉ DA TAPERA
24/09/2013	EM.E.F- ARÍSTIDES ANTONIO DA SILVA	MACENAS	SÃO JOSÉ DA TAPERA
24/09/2013	E.M.E.F - LUCILO JOSE RIBEIRO	SÍTIO LAGOA DA COBRA	SÃO JOSÉ DA TAPERA
25/09/2013	E.M.E.F - BEIJAMIM SODRÉ	SÍTIO COVA DO CASADO	CANAPI
25/09/2013	E.M.E.F - JOSÉ JUSTINO ALVES	SÍTIO LAGOA DO JOÃO	CANAPI
25/09/2013	E.M.E.F - PADRE CÍCERO	SÍTIO MULUNGU	CANAPI
25/09/2013	E.M.E.F - LAMENHA FILHO	SÍTIO CACHOEIRA VELHA	CANAPI
25/09/2013	E.M.E.F - MARCOS FERNANDES DA COSTA	SÍTIO CAITITU	CANAPI
25/09/2013	E.M.E.F - SANTA CRUZ	POVOADO SANTA CRUZ	CANAPI
25/09/2013	E.M.E.F - ASSENTAMENTO VÁRZEA DA PALHA	VÁRZEA DA PALHA	CANAPI
26/09/2013	E.M.E.F - JOSÉ DIVO ALVES	SÍTIO OLHO D'ÁGUA	CANAPI
26/09/2013	E.M.E.F - MANOEL JOSÉ SOBRINHO	SÍTIO RIACHO DO MEIO	CANAPI
26/09/2013	E.M.E.F - 13 DE MAIO	SÍTIO RIACHO DO MAURÍCIO	CANAPI
26/09/2013	E.M.E.F - MANOEL DE ABREU	SÍTIO SERRA DO EXU	CANAPI
26/09/2013	E.M.E.F - RUI BARBOSA	SÍTIO VÁRZEA VERMELHA	CANAPI
26/09/2013	E.M.E.F - TOMÉ DE SOUZA	SÍTIO LAGOA DA SAMAMBAIA	CANAPI
27/09/2013	E.M.E.F-MANOEL FLORENCIA	SÍTIO POÇOS	OLHO DÁGUA DAS FLORES
27/09/2013	POVOADO PEDRÃO	SÍTIO GATO	OLHO DÁGUA DAS FLORES
27/09/2013	E.M.E.F - PONCIANO MACHADO VILAR	POVOADO PEDRÃO	OLHO DÁGUA DAS FLORES
27/09/2013	E.M.E.F - BENEVONUTO MACHADO VILAR	SÍTIO TOCO DA AROEIRA	OLHO DÁGUA DAS FLORES
27/09/2013	E.M.E.F - PEDRO NOGUEIRA	VILA SANTO	PALESTINA

		ANTÔNIO	
27/09/2013	E.M.E.F - PAO JOSÉ MÉDEIROS	VILA SANTO ANTÔNIO	PALESTINA
30/09/2013	E.M.E.F - 19 DE NOVEMBRO	POÇO SALGADO	SENADOR RUI PALMEIRA
30/09/2013	E.M.E.B - AMAURÍLIO FERREIRA LIMA	BOA VISTA	SENADOR RUI PALMEIRA
30/09/2013	E.M.E.F - JOÃO BATISTA DA SILVA	MORORÓ	SENADOR RUI PALMEIRA
30/09/2013	E.M.E.F - EMÍDIO JANUÁRIO DE MELO	MALHADINHA	SENADOR RUI PALMEIRA
30/09/2013	E.M.E.B - ANTÔNIO JOSÉ DE AQUINO	ALTO DO COURO	SENADOR RUI PALMEIRA
30/09/2013	E.M.E.F - VEREADOR ABDON FRANCISCO DE LIMA	SÍTIO SALGADINHO	CARNEIROS
01/10/2013	E.M.E.F - MANOEL LEANDRO PEREIRA	SÍTIO ANTAS	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - JOSE ALVES DA SILVA	POVOADO SALGADINHO	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - MANOEL AMADOR DOS SANTOS	SÍTIO BAIXA GRANDE	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - MANOEL BEZERRA LINTO	SÍTIO MEDEIROS	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - ANTONIO AGOSTINHO DOS ANJOS	DISTRITO CABOCLO	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - LAURENTINO JOSE RODRIGUES	SÍTIO CACIMBA DO BARRO	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - SANTA HELENA	SÍTIO LAGOA DO MATO	SÃO JOSÉ DA TAPERA
01/10/2013	E.M.E.F - CAPITULINO LOURENCO DE ARAUJO	SÍTIO GAVIÃO*	SÃO JOSÉ DA TAPERA
02/10/2013	E.M.E.F - MANOEL VIEIRA DA SILVA	CAVA OURO	SENADOR RUI PALMEIRA
02/10/2013	E.M.E.F - JOSÉ FERREIRA LIMA	TINGUI	SENADOR RUI PALMEIRA
02/10/2013	E.M.E.F - MARTINS FERREIRA LIMA	SERRINHA	SENADOR RUI PALMEIRA
02/10/2013	E.M.E.B - MARIA DE L. ALVES DA SILVA	CINCO UMBUZEIRO	SENADOR RUI PALMEIRA
04/10/2013	E.M.E.F - PRUDENTE DE MORAES	VEREDAS DAS MOITAS	SENADOR RUI PALMEIRA
04/10/2013	E.M.E.F - JOAO ANTONIO MACHADO	SÍTIO RIACHO DA ONÇA	SÃO JOSÉ DA TAPERA
04/10/2013	E.M.E.F - CREUZA VIEIRA LIMA	FAZENDA SÃO JOSÉ	SÃO JOSÉ DA TAPERA
04/10/2013	E.M.E.F - FREI DAMIAO	SÍTIO QUIXABEIRA	SÃO JOSÉ DA TAPERA
07/10/2013	E.M.E.F - RITA FERREIRA DE SOUZA	LAGOA DOS CÁGADOS	MAJOR IZIDORO
07/10/2013	E.M.E.F - CRISTÓVÃO COLOMBO	SÍTIO BEZERRA	MAJOR IZIDORO
07/10/2013	E.M.E.F - PEDRO JOSÉ GREGÓRIO	SÍTIO CAJARANA	MAJOR IZIDORO
07/10/2013	E.M.E.F - SÍLVIO AMARAL	SÍTIO RIACHÃO DOS ALEXANDRES	MAJOR IZIDORO
07/10/2013	E.M.E.F - VEREADOR EDERLINDO RODRIGUES	SÍTIO SÃO MARCOS	MAJOR IZIDORO
07/10/2013	E.M.E.F - MANOEL LEÃO DE OLIVEIRA	SÍTIO NOVA APARECIDA	MAJOR IZIDORO
07/10/2013	E.M.E.F - ANTÔNIO RODRIGUES DOS SANTOS	SÍTIO PARAÍSO	MAJOR IZIDORO
08/10/2013	E.M.E.F - OLIVAL RODRIGUES TENÓRIO	SÍTIO TRAVESSIA	MAJOR IZIDORO
08/10/2013	E.M.E.F - JOSÉ VICENTE FÉLIX	SÍTIO MUQUEM	MAJOR IZIDORO
08/10/2013	E.M.E.F - OTELINA MARIA DA CONCEIÇÃO	SÍTIO BELA AURORA	MAJOR IZIDORO

08/10/2013	E.M.E.F - DOM VITAL	SÍTIO TANQUINHOS	MAJOR IZIDORO
09/10/2013	E.M.E.F - JOSE ALVES DA SILVA	POVOADO SALGADINHO	SÃO JOSÉ DA TAPERA
09/10/2013	E.M.E.F - VEREADOR ABDON FRANCISCO DE LIMA	SÍTIO SALGADINHO	CARNEIROS
09/10/2013	E.M.E.F-MANOEL FLORENCIA	SÍTIO POÇOS	OLHO DÁGUA DAS FLORES
15/10/2013	E.M.E.F - JOSE ALVES DA SILVA	POVOADO SALGADINHO	SÃO JOSÉ DA TAPERA
15/10/2013	E.M.E.F - MANOEL AMADOR DOS SANTOS	SÍTIO BAIXA GRANDE	SÃO JOSÉ DA TAPERA
17/10/2013	E.M.E.F - MANOEL AMADOR DOS SANTOS	SÍTIO BAIXA GRANDE	SÃO JOSÉ DA TAPERA
18/10/2013	Secretária de Saúde		MAJOR IZIDORO
24/10/2013	E.M.E.F - SÍLVIO AMARAL	SÍTIO RIACHÃO DOS ALEXANDRES	MAJOR IZIDORO
25/10/2013	E.M.E.F - JOÃO JENUÁRIO	VÁRZEA DE DONA JOANA	POÇO DAS TRINCHEIRAS
25/10/2013	E.M.E.F - MUNIZ FALCÃO (SEDE)	ALTO DO TAMANDUA	POÇO DAS TRINCHEIRAS
24/10/2013	E.M.E.F - RITA FERREIRA DE SOUZA	LAGOA DOS CÁGADOS	MAJOR IZIDORO
24/10/2013	E.M.E.F - CRISTÓVÃO COLOMBO	SÍTIO BEZERRA	MAJOR IZIDORO
24/10/2013	E.M.E.F - PEDRO JOSÉ GREGÓRIO	SÍTIO CAJARA	MAJOR IZIDORO
24/10/2013	E.M.E.F - SÍLVIO AMARAL	SÍTIO RIACHO DOS ALEXANDRES	MAJOR IZIDORO
25/10/2013	E.M.E.F - PONCIANO MACHADO VILAR	POVOADO PEDRÃO	OLHO DÁGUA DAS FLORES
01/11/2013	E.M.E.F - PONCIANO MACHADO VILAR	POVOADO PEDRÃO	OLHO DÁGUA DAS FLORES
05/11/2013	Secretária de Saúde		MAJOR IZIDORO

Tabla 13. Registro de visitas de toma de muestras y técnicas

PUNTO DE MUESTRA	FECHAS CONSECUTIVAS DE LA RECOGIDA DE MUESTRAS DESDE EL MES DE NOVIEMBRE DEL 2013 A MARZO DEL 2014													
Sítio cajarama	5-11	19-11	26-11	3-12	9-12	16-12	23-12	7-1	14-1	22-1	29-1	6-2	13-2	19-2
Sítio Riachão dos Alexandres	5-11	19-11	26-11	3-12	9-12	16-12	23-12	7-1	14-1	22-1	29-1	6-2	13-2	19-2
Lagoa dos Cágados	19-11	26-11	9-12	17-12	23-12	7-12	14-1	22-1	29-1	6-2	13-2	18-2	26-2	13-3
Sítio Bezerra	19-11	26-11	3-12	3-12	16-12	23-12	7-12	14-1	22-1	29-1	6-2	13-2	18-2	26-2
Sítio Paraíso	26-11	3-11	9-12	16-12	17-12	22-1								
Povoado Pedrão	19-11	26-11	3-12	19-12	3-12	22-1	27-1	11-2	18-2	24-2	13-3			
Sítio Gato	19-11	26-11	11-12	19-12	22-1	29-1	27-1	11-2	18-2	18-2	26-2	13-3		
Sítio Poços	6-11	20-11	27-10	4-12	11-12	18-12	23-12	7-1	16-1	20-1	29-1	11-2	18-2	24-2
Salgadinhos	22-1	11-2	18-2	24-2										
Alto do Couro	16-1	13-3												
Malhadinha	6-11	20-11	4-12	11-12	27-1	20-2								
Poço salgado	6-11	20-11	4-12	11-12	14-1	27-1	20-2	13-3						
Logrador	16-1	27-1	11-3											
Baixa grande	5-11	20-11	26-11	4-12	11-12	18-12	16-1							
Bananeira	19-12	16-1												
Sítio Lagoa da Cobra	5-11	20-11	26-11	4-12	11-12	18-12	14-1							
Lage dos Canges	24-2													
Cova do casado	12-11	27-11	11-12	19-12	10-1	22-1	11-2	20-2						
Vila San antonio	10-3													
Macenas	16-1	11-3												

Sítio Cacimba do Barro	11-3			
Sítio Tanquinhos	3-12	9-10	16-12	13-2
San Marcos	3-12			
Nova Parecida	5-12	9-10	16-12	13-2
Casa Severina	29-1	6-2	13-2	19-2
Casa Rosa	29-1	6-2	13-2	19-2

Tabla 14. Número de análisis por escuela y lugar de toma de muestra y visitas técnicas

COMUNIDAD ESCOLAR	MUESTRAS EN MINI LABORATORIO				VISITAS
	TOTAL	EN CISTERNA CONDRI	EN VASO	EN CISTERNA COMUNITARIA	TÉCNICAS
Sítio cajarama	27	15	12	-	7
Sítio riachão dos alexandres	28	15	10	3	7
Lagoa dos cágados	19	12	7	-	7
Sítio bezerra	16	11	5	-	7
Sítio paraíso	3	-	1	2	4
Povoado pedrão	11	7	4	-	6
Sítio gato	12	6	6	-	6
Sítio poços	12	10	2	-	7
Salgadinho	6	6	-	-	2
Alto do couro	1	1	-	-	2
Malhadinha	6	-	4	2	4
Poço salgado	10	4	3	3	5
Logrador	3	3	-	-	2
Baixa grande	-	-	-	-	3
Bananeira	-	-	-	-	2
Lágoa da cobra	1	-	-	1	4
Lage dos cangos	-	-	-	-	1
Cova do casado	20	7	6	7	4
Vila santo antônio	-	-	-	-	1
TOTAL	175	97	60	18	81

ESCUELAS BENEFICIARIAS PERO TODAVÍA SIN CISTERNA	MUESTRAS ANALIZADAS EN MINI LABORATORIO			
	TOTAL	CISTERNA O RESERVATORIO	EN VASO	CISTERNA COMUNITARIA
Tanquiños	10	5	5	-
San marcos	2	1	1	-
Nova parecida	10	5	5	-
TOTAL	22	11	11	.

CISTERNAS DE PRIMERA AGUA DE OTROS PROYECTOS	MUESTRAS ANALIZADAS EN MINI LABORATORIO
--	---

	TOTAL	CISTERNA
Severina ferreira da silva	5	5
Rosa alves camilo	4	4
TOTAL	9	9

ANEXO II: MATERIALES GRUPOS FOCALES

Guion Grupo focal “pedreiros”

Nivel de capacitación y experiencia en construcción de cisternas de captación de agua lluvia.

1. ¿Cuántas cisternas habéis construido de 52 m³? ¿y de primera agua (16 m³)? ¿Otras?
2. ¿Habéis asistido a algún curso de aprendizaje? En caso afirmativo; ¿En qué consistió? ¿Estáis contentos?
3. ¿En qué otras labores de construcción trabajáis?

Descripción del trabajo realizado

4. Podríais contarnos un poco los pasos que realizáis en; la construcción de la cisterna;
5. la limpieza del tejado; la instalación de los *canos* y *bicas*; la instalación de la bomba.
6. ¿Habéis contado con la participación de la comunidad escolar?
- 7.

Condiciones laborales y grado de satisfacción.

8. ¿Es difícil construir la cisterna de 52 m³?, ¿Por qué?, ¿Preferís construir cisternas de 16 m³ o de 52 m³? ¿Por qué?
9. ¿Cuántos *pedreiros* participaron en la construcción de la cisterna? ¿Creéis que la relación *pedreiros*-cisterna de 52 m³ es adecuada?
10. ¿Habéis tenido retrasos o falta del material necesario para la construcción de la cisterna (*cemento, brita, areia*, etc)?, ¿Cuáles?
11. ¿Hubo agua suficiente? ¿De dónde procedía?
12. ¿De qué herramientas disponéis? ¿Echáis en falta alguna?
13. ¿Cuánto tiempo se necesita para construir una cisterna de 52 m³?
14. ¿Estáis contentos con la retribución por el trabajo?
15. ¿Cuál es el compromiso/ responsabilidad que tenéis hacia CONDRI?
- 16.

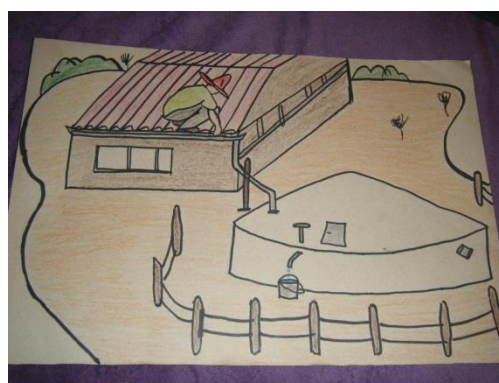
Problemas detectados en la construcción de las cisternas.

17. ¿Ha ocurrido alguna incidencia en la construcción? En caso afirmativo; ¿Cuál? , ¿Por qué?, ¿Habéis podido solucionarlo? , ¿Cómo?

Predisposición y capacitación para el mantenimiento y reparaciones de las cisternas

18. ¿Qué problemas pueden ocurrir una vez construidas las cisternas?¿Cómo se repararían?
19. ¿Habéis reparado alguna? En caso afirmativo ¿Fuisteis contratados para ello? En caso negativo, ¿En qué condiciones estarías dispuestos a repararlas?

Fotografías: Grupo focal y materiales gráficos



Hoja de participación en Grupo focal



Lugar de realización: Bezerra
Fecha: 26-02-2014

Moderador: Andrea Ventura

ENTREVISTADO	CARGO	COMUNIDAD	MUNICIPIOS
José Leandro da Silva Mato	Pedreiro	Alto do Couro y Macenas	Senador Rui de Palmeiras y São José da Tapera
José Valmir Calcovantes Agieole	Jefe pedreiro	Alto do Couro y Macenas	Senador Rui de Palmeiras y São José da Tapera
Cícero Santos da Silva	Pedreiro	Alto do Couro y Macenas	Senador Rui de Palmeiras y São José da Tapera
José Cicero Alves Soares	Xefe pedreiro	Sítio Bezerra, Lagoa dos Cágados, Paraíso y Sítio Cajarama	Major Isidoro
José Helio de Oliveira	Pedreiro	Sítio Bezerra, Lagoa dos Cágados, Paraíso y Sítio Cajarama	Major Isidoro
Valmir Pedro da Silva	Pedreiro	Sítio Bezerra, Lagoa dos Cágados, Paraíso y Sítio Cajarama	Major Isidoro

ANEXO III. IDENTIFICACIÓN VISUAL DE LAS CISTERNAS.



SÍTIO CAJARAMA (Major Isidoro)



RIACHÃO DOS ALEXANDRES



LAGOA DOS CÁGADOS (Major Isidoro)



SÍTIO BEZERRA (Major Isidoro)



SÍTIO PARAÍSO (Major Isidoro)



POVOADO PEDRAO (Olho água das Flores)



SÍTIO GATO (Olho d'água das Flores)



SÍTIO POÇOS (Olho d'água das Flores)



SALGADINHOS (Carneiros)



ALTO DO COURO (Senador Rui de Palmeira)



MALHADINHA (Senador Rui de Palmeira)



POÇO SALGADO (Senador Rui de Palmeira)



BANANEIRA (São José da Tapera)



LOGRADOR (São José da Tapera)



BAIXA GRANDE (São José da Tapera)



LAGOA DA COBRA (São José da Tapera)



LAGE DOS ANGOS (Olivenza)



COVA DO CASADO (Canapí)



VILA SAN ANTONIO (Palestina)



TOÇO DA AROEIRA (Olho d'água das Flores)*
(Fuera del estudio por abandono de la escuela)

ANEXO IV: FORMULARIOS DE CAMPO

Formulario de Acompanhamento de Campo: Visitas semanais

Data da coleta: _____

Comunidade Escolar: _____

Pessoas presente na visita: _____

1. Estado da escola:
☐ Funcionamento normal ☐ Sen aulas y aberta
☐ Fechada
2. Origem da agua da cisterna:
☐ Chuva ☐ Carro-pipa ☐ Água encanada
☐ Outro. ¿Qual? _____
3. Uso da cisterna para beber:
☐ Si ☐ No ¿Origem agua para beber? _____
4. Tempo desde a última chuva: _____
5. Altura água-trampa (cm) : _____
6. Situação do cano:
☐ Colocado ☐ retirado ☐ Extraído
7. Redes colocadas
☐ No ☐ Si. ¿Dónde? _____
 ¿Cómo é? _____
8. A trampa fica:
17. Análise físico, química y microbiológico.
 T I Incubación: _____

☐ Fechada ☐ Aberta

9. Foi detectado algum tipo de sujeita no teljado, canos e bicas ou cisterna:

☐ No ☐ Si. ¿Dónde? _____

10. ¿Tem bomba Carcará II?

☐ No ☐ Si.

11. Extracción agua cisterna.

☐ Bomba Carcará II ☐ corda e balde ☐ bomba eléctrica ☐ Otro. ¿Qual? _____

12. Incidencias bomba Carcará II:

☐ No ☐ Si. _____

13. Otras incidencias:

14. Realização de fotos:

☐ No ☐ Si

15. Observaciones visita: _____

16. Observaciones análisis: _____

Nº AMOSTRA	PUNTO DE RECOGIDA DA AMOSTRA	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	PH	CE (µS/cm)	Cloro residual (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Coliformes fecales (colonias/100 ml)

Formulario Características de la Escuela y Registro de Incidencias o problemas constructivos.

Nombre _____ Fecha de conclusión cisterna: _____
Escuela: _____ Fecha de lavado de la cisterna: _____
Comunidad Escolar: _____ Período de vacaciones: _____

LOCALIZACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOGIDA DE AGUA

1. Localización de la fosa séptica, basura, corrales y gallineros s en relación a la cisterna.
☐Adecuado ☐ No adecuado
2. Localización de árboles de porte grande en relación a la cisterna.
☐Adecuado ☐ No adecuado
3. ¿Es correcta la caída del agua? _____
4. ¿Se detectaron daños en el tejado? _____
5. ¿Se han instalado soportes para las tuberías?
☐No ☐ Si. Descripción: _____
6. Perímetro de la zona de captación: _____
7. Alturas: Suelo –trampa(cm): _____ Rebosadero-trampa: _____ Niveles máximo y mínimo de enterramiento: _____ / _____,
8. ¿Pérdidas de agua en la cisterna? _____
9. ¿Fue recolocada la tierra alrededor de la cisterna: _____
10. Incidencias en la construcción: _____

MECANISMOS DE PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN

11. Existe dispositivo manual de retirada de primeras aguas.
☐No ☐Si. ¿Cuándo se instaló? _____
¿Cómo es? _____
12. Existe redes, mayas o filtros.
☐No ☐Si. ¿Cómo son? _____
¿Dónde están? _____
13. ¿Cómo se gestiona o se piensa gestionar la retira de primeras aguas de lluvia en horario de clase, noches en período de vacaciones?
Horario de clase: _____
Noche: _____
Feriados e fin de semanas: _____

En Período de vacaciones: _____

14. ¿Tiene candado? ☐No ☐Si.

15. ¿Tiene bomba Carcará?

16. ☐No ☐Si.

¿Cuándo se instaló? _____

¿Se están usando? _____

17. ¿Se ha detectado alguna incidencia? _____

18. ¿Disponen de baldes, recipientes de almacenamiento adecuados y vasos para garantizar que no hay contaminación post-cisterna?

☐No ☐Si

19. 19. ¿Tiene un balde único para extraer el agua de la cisterna?

☐No ☐Si

20. ¿Se realiza clasificación de recipientes?

☐No ☐Si.

21. Descripción del camino desde la cisterna al punto de almacenamiento para consumo humano: _____

MANTENIMIENTO

22. ¿Fue lavada la cisterna por primera vez antes de su uso?

☐No ☐Si. ¿Por quién? _____

¿Cómo es el proceso de lavado? _____

23. ¿Se va a lavar la cisterna periódicamente?

☐No ☐Si.

¿Quién la va a lavar? _____

¿Cada cuánto tiempo? _____

¿Cómo es el proceso de lavado? _____

24. ¿Se va a lavar el tejado periódicamente?

☐No ☐Si.

¿Quién lo va a lavar? _____

¿Cada cuánto tiempo? _____

¿Cómo es el proceso de lavado? _____

25. Otros procesos de mantenimiento planeados:

26. Mecanismos de reparación detectados:

TRATAMIENTO DEL AGUA

27. ¿Reciben cloro de la *Secretaria de Saúde*?

☐No ☐Si.

En caso afirmativo

☐Dejan el cloro en la escuela y el personal de la escuela lo hecha en los reservatorios o cisternas

☐Dejan el cloro en la escuela y el personal de la escuela lo hecha en los filtros o bebedoiros.

☐El personal de la secretaria de salud lo hecha en las cisterna o reservatorios.

28. Disponer de filtros.

☐No ☐Si. En caso afirmativo,

¿lo usan?

☐No ☐Si

26. ¿La secretaria de saude introduce ABATE o algún otro tipo de

29. ¿Realizan algún otro tratamiento?

☐No ☐Si. ¿Cuál? _____

OBSERVACIONES GENERALES

ANEXO V: JORNADAS INTERNACIONALES DE BOMBAS MANUALES Y DE ARIETE.

PARTICIPANTES

Emilio Gómez Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSDI) . Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
 Manuel Sierra Director Cooperación . UPM
 Henk Holtziag Fundación Práctica . Países Bajos
 José A. Mancebo Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo (GCSASD) . ETSDI . UPM
 Victoria Sánchez ETSDI . UPM
 Andrea Ventura Universidad Federal de Bahía
 Luz Fernández Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSI) . UPM
 Carla Gualdani Instituto Ambiental Brasil Sustentável . Brasil
 Celia Fernández ETS de Sistemas Informáticos . UPM
 Josep Lobera Universidad Autónoma de Madrid
 Alba M. del Campo ECOLUTION-a . GCSASD
 Tomás López UNOPS
 Andrés Narros Universidad de Filipinas
 Manuel Merino GCSASD . ETSDI . UPM
 Miguel Martín-Loeches Universidad de Alcalá
 Luis Rebollo Universidad de Alcalá
 Rocio Baquero UCLM
 Graciela Gómez UCLM
 Juan Manuel Orquín GCSASD . ETSDI . UPM
 Edison Ramos CONDRI . Brasil
 Christian Polo ETSDI . UPM
 Mafalda González GCSASD . UPM
 Ulpiano Ruiz-Rivas Escuela Politécnica Superior (EPS) . Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)
 María Teresa Hernández GCSASD . ETSDI . UPM
 Laura Sanz ETSDI . UPM
 Lucía Blanco EPS . UC3M
 José A. Pérez ETSDI . UPM
 Héctor de Caso ETSDI . UPM
 Inaki Garayoa ETSDI . UPM
 Ricardo García GCSASD . ETSDI . UPM
 Helena Burbano ONG Zerca y Lejos
 Loreto Rebollo Polo ONG Zerca y Lejos
 José Luis Cachó ONG Zerca y Lejos
 Miguel Martínez ONG Zerca y Lejos
 Guillermo de la Figuera ONG Zerca y Lejos
 Rubén García ONG Zerca y Lejos
 Miguel Cerezales Bonsald Asociación
 Pedro Vadillo ONG Zerca y Lejos
 Luis Lorenzo GCSASD . ETSDI . UPM
 Francisco del Pozo
 José María Romero ASOL
 Jesús Serrano ONG IROKO
 Guillermo Sánchez UAH . Cruz Roja Alemana
 Fátima González UAH

Una contribución tecnológica al desarrollo, mejorando el acceso al agua para consumo humano y la seguridad alimentaria

Aqua Saneamiento Para el Desarrollo

Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial
 Universidad Politécnica de Madrid
 Ronda de Valencia, 3
 28012 - Madrid
 Metro EMBAJADORES

Escuela Politécnica Superior
 Universidad Carlos III de Madrid
 Avenida del Mediterráneo, 20. Leganés.
 Madrid
 Cercanías LEGANÉS CENTRAL



Universidad Carlos III de Madrid



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



CEU
 Universidad San Pablo



Innovación y Tecnología para el Desarrollo Humano



@AySdes / @DyTdesarrollo

1as Jornadas Internacionales sobre Bombas Manuales y de Ariete

Madrid
 27, 28 y 29
 noviembre 2011



POLITÉCNICA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial



AGUA, SANEAMIENTO Y DESARROLLO

DT
 Diseño y Tecnología para el Desarrollo Humano